

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta stojní,
Studijní program M 2301 – Strojní inženýrství

Katedra sklářských strojů a robotiky



Studijní obor: 2302T010 Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření: Sklářské a keramické stroje

Automatická manipulace s opuknutými polotovary na vstupu do CHPP

(Automatic manipulation with cut product on entrance to the CHPP)

KSR

Jaroslav Komůrka

Vedoucí práce: Doc. Ing. František Novotný, CSc., TU Liberec

Konzultant: Ing. Marcel Horák, Ph.D.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	52
Počet obrázků	33
Počet tabulek	4
Počet příloh	10
Počet výkresů	4

Anotace:

Předkládaný projekt se zabývá konstrukčním řešením manipulace s polotovary, odebráním celé řady z příčného pásu laserového opukávacího stroje a přenesením na pás chladicí pásové pece. V první části práce je proveden rozbor vlivu sortimentu a návrhy nových variant pro manipulaci s polotovary a výběr nejvhodnější varianty. V další části je vybraná alternativa zpracována konstrukčně, byly provedeny výpočty pohonů a dimenzování hlavních dílů konstrukce. V závěru diplomové práce je provedeno zhodnocení technických parametrů.

Klíčová slova:

Manipulátor, chladicí pec, chapadlo.

Annotation:

Presented project is focused on structural solution regarding manipulation with semiproducts, withdrawal of whole raw of semiproducts from the belt laser conveyor for cracking-off and carrying on the conveyor belt of the lehr. First part of the work contains analysis of influence of assortment and proposals for new variants for manipulation with semiproducts and selections of the optimal variant.

There is an constructive processing of the selected optimal variants in the next part of the work. In this part the calculations regarding drives and dimensioning of the main part of construction were performed. There is performed the estimation of technical parameters in conclusion.

Key words:

Manipulator, cooling turbace, grab.

Nejprve bych chtěl poděkovat **Doc. Ing. Františku Novotnému, CSc.** za spolupráci, vynikající rady, cenné informace, kritické připomínky a příkladné vedení při řešení mé diplomové práce.

Prohlášení

Byl (a) jsem seznámen (a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.)

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

Obsah

ANOTACE:	3
PŘEHLED OZNAČENÍ:	8
ÚVOD.....	10
1. ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU MANIPULACE S POLOTOVARY	11
1. 1 POPIS LINKY LINKUŽ	11
1. 2 SCHÉMA LINKY LINKUŽ	14
1. 3 ROZBOR AUTOMATICKÉ MANIPULACE S POLOTOVARY NA VSTUPU DO CHLADÍČÍ PECE NA LINCE	14
1. 4 POŽADAVKY NA ŘEŠENÍ AUTOMATICKÉ MANIPULACE	16
1. 5 ANALÝZA VLIVU SORTIMENTU	16
1. 6 ANALÝZA ROZMĚRŮ VÝROBKŮ	17
1. 7 ANALÝZA MANIPULAČNÍ ÚLOHY	18
1. 8 VLIV MANIPULAČNÍ ÚLOHY	18
1. 9 PŘEHLED TECHNICKÝCH PARAMETRŮ	19
2. ALTERNATIVNÍ NÁVRHY MANIPULAČNÍHO ZAŘÍZENÍ	20
2. 1 NÁVRHY UCHOPENÍ ŘADY POLOTOVARŮ	21
2. 2 POHON VERTIKÁLNÍCH A HORIZONTÁLNÍCH JEDNOTEK	26
2. 3 MANIPULACE S ŘADOU POLOTOVARŮ	29
2. 3. 1. Přenos řady polotovarů	29
2. 3. 2. Přesun řady polotovarů	30
2. 4 ANALÝZA VARIANT	30
2. 4. 1 Kritéria výběru:	30
2. 4. 2 Posuzované varianty	31
2. 5 VÝBĚR VARIANTY PRO KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	31
3. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MANIPULAČNÍHO ZAŘÍZENÍ.....	33
3. 1 POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ MANIPULÁTORU	33
3. 1. 1 Konstrukce chapadla	33
3. 1. 2 Konstrukce manipulátoru	35
3. 2 ŘÍZENÍ PRACOVNÍHO CYKLU MANIPULAČNÍHO ZAŘÍZENÍ	37
3. 2. 1 Vývojový diagram pro řízení cyklu manipulačního zařízení	38
3. 2. 2 Systém řízení	41

3. 3 DIMENZOVÁNÍ POHYBOVÝCH OS MANIPULÁTORU.....	43
3. 3. 1 Výpočty pohonů a dimenzování horizontálních jednotek	43
3. 3. 2 Výpočty pohonů a dimenzování horizontálních jednotek	47
4. TECHNICKOEKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	49
4. 1 ZHODNOCENÍ PARAMETRŮ NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ.....	49
4. 2 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	50
ZÁVĚR	51
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:.....	52

PŘEHLED OZNAČENÍ:

Zn.	[jednotka]	popis
C	[N]	dynamická únosnost
d	[m]	průměr pastorku
d _r	[m]	průměr řemenice
F _Z	[N]	zatížení valivého uložení
F _Z '	[N]	zatížení valivého uložení na jednu jednotku
g	[N/kg]	gravitační zrychlení
i	[-]	počet paralelních vedení
i _{PR}	[ot/s]	převod převodovky
i _V	[ot/s]	vnitřní převod jednotky
J _A	[kg . m ²]	moment setrvačnosti pohonu
J _C	[kg . m ²]	celkový moment setrvačnosti
J _L	[kg . m ²]	moment setrvačnosti zátěže
J _M	[kg . m ²]	moment setrvačnosti motoru
J _{PR}	[kg . m ²]	moment setrvačnosti převodovky
J _{red}	[kg . m ²]	redukovaný moment setrvačnosti
m _C	[kg]	celková hmotnost posuvných hmot
M _L	[N.m]	zátěžný moment
M _m	[N.m]	moment převodovky
M _M	[N.m]	moment motoru
M _N	[N.m]	jmenovitý moment
M _{stř}	[N.m]	střední moment
M ₁	[N.m]	rozběhový moment
M ₂	[N.m]	zátěžný moment
M ₃	[N.m]	brzdící moment
n _L	[ot/s]	zatěžující otáčky
n _{max}	[ot/s]	maximální otáčky
n _M	[ot/s]	vstupní otáčky motoru
n _N	[ot/s]	jmenovité vstupní otáčky
n _P	[ot/s]	otáčky pastorku

R	[N]	odpor valivých členů
R'	[N]	odpor valivých členů v závislosti na zatížení
t_r	[s]	doba rozběhu
t_1	[s]	čas rozběhu
t_2	[s]	čas chodu
t_3	[s]	čas doběhu
t_4	[s]	čas stání
T_f	[N]	odpor v těsnících prvcích vedení
v	[m/s]	rychlost
$v_{\max}$	[m/s]	maximální rychlost
$\varepsilon_{\max}$	[s ⁻²]	maximální úhlové zrychlení
μ	[-]	koeficient valivého tření
ω	[rad/s]	úhlová rychlost
ω_N	[rad/s]	úhlová rychlost motoru
ω_P	[rad/s]	úhlová rychlost pastorku
$\omega_{PŘ}$	[rad/s]	úhlová rychlost převodovky

Úvod

V rámci linky na automatickou výrobu kalíškoviny jsou polotovary zakládány do chladicí pece v řadách s počtem 9 až 13 kusů v řadě s rychlostí tři řady za minutu. Uvedené Parametry se mění v závislosti na sortimentu. Manipulace je dosud prováděna manipulátorem, který pomocí hrabla zasune polotovary v obrácené poloze dnem vzhůru, kopnou na pás chladicí pásové pece (CHPP). Inovační trendy výrobní linky jsou zaměřeny na nové technologické postupy a automatickou robotizovanou manipulaci. Jednou z operací, které procházejí inovací, je proces opukávání, prováděný nově pomocí laseru a opuknuté polotovary procházejí pak CHPP v poloze na nožce. To přineslo nové nároky na manipulaci na výstupu do chladicí pece.

Je nutné provést manipulaci s polotovarů odebráním celé řady z příčného pásu laserového opukávacího stroje a přenesením na pás chladicí pásové pece. Manipulátor musí být schopen vyrovnávat rozdíly taktáže a případné krátkodobé výpadky provozu opukávacího stroje a bezproblémově zvládnout manipulační operace s celým sortimentem zpracovávaných polotovarů.

S tímto souvisí můj úkol v diplomové práci, kterým je navrhnout manipulační zařízení, které umožní plynulé zakládání opukáných polotovarů z konce příčného pásu laserového opukávacího stroje do chladicí pásové pece. Manipulační zařízení musí respektovat rozdíly taktáže a vyrovnat se s rozmanitostí sortimentu. V souladu se zadáním byla diplomová práce rozdělena do čtyř kapitol.

V první kapitole je proveden rozbor současného stavu a vymezení technických podmínek a parametrů pro řešení. Ve druhé kapitole je proveden alternativní návrh řešení a zpracována rozhodovací analýza manipulační úlohy a výběr koncepční varianty pro konstrukční řešení. Třetí kapitola se zabývá vlastním konstrukčním řešením manipulačního zařízení, které je podloženo výpočty základních funkčních celků. Výkresová dokumentace je zpracována formou sestavného výkresu, podsestav a detailu hlavních funkčních uzlů. Ve čtvrté kapitole je zpracováno technickoekonomické zhodnocení navrženého manipulačního zařízení.

1. ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU MANIPULACE S POLOTOVARY

1. 1 Popis linky LINKUŽ

Výrobní linka LINKUŽ se skládá ze sklářského tavícího agregátu s žaluziovým zakladačem, opukávacího stroje s dávkovačem, lisu s dávkovačem, zakladače stonků, chladicí pásové pece, opukávacího stroje a zapalovacího stroje. Na obrázku 1 je znázorněno organizační schéma linky.

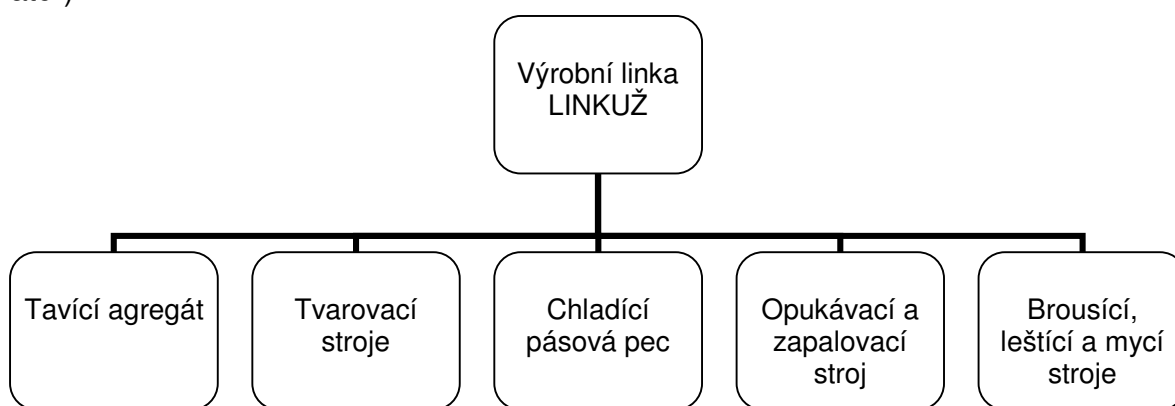
Poloha kapky je na lisovací hlavě fixovaná přidržovačem kapky. Kapka skloviny se vylisuje mezi lisovací hlavou a vakuovou přenášečí hlavou na tvar plochého výlisku (placka). Ten je následně předán otočným pohybem na rotační stolek tvarovací stanice. Přitlačením píšťaly na plochý předlisek se tento poněkud prohloubí a současně se sklovina zalisuje do ústí formy. V dalším okamžiku začne na prohlubeň plochého předlisku působit tlak vzduchu z foukací píšťaly při současném otáčení píšťaly kolem své osy.

Současně s tímto procesem probíhá i lisování dýnek na karuselovém lisu. Lis má vlastní mechanický dávkovač s rotačním pohybem nůžek. Taktáž lisu je vždy vyšší, než taktáž foukacího stroje (o 2 až 9 ks/min podle typu vyráběných sklenic). Nožky jsou lisovány v poloze o 180° a během dopravy do zakladače stonků jsou pomocí skluzu obráceny. Zakladač stonků vyřazuje přebytečné nožky (rozdíl taktáží) a zakládá nožky do liso-foukacího karuselu. Po založení nožky díky volnému tvarování foukáním dochází ke spojení baňky s nožkou. Během tohoto spojování se začne zavírat sklářská forma s porézním, vodou nasáklým povrchem. Po úplném uzavření se provede dotvarování foukáním za rotace při tlaku 0,3 až 1 kPa.

Z karuselu jsou sklenice dopravovány do osmisekční chladicí pece. V chladicí peci jsou sklenice umístěny dnem vzhůru. Po výstupu z chladicí pece se sklenice zakládají na vstupní dopravník opukávacího stroje. Toto zakládání je prováděno buďto manuálně nebo pomocí překládacího zařízení.

Na tomto stroji jsou sklenice zakládány pomocí zvedací plošinky a uchycují se do tříčelistové upínací hlavy. Na stroji se postupně ve dvaceti

pracovních pozicích provádí opukávání kopny, zabroušení okrajů, vyleštění, umytí a osušení. Ze stroje se opuknuté a zabroušené sklenice odkládají na pás dnem vzhůru. Z tohoto pásu jsou překládány na další pás. Při překládání jsou sklenice otáčeny o 180° a stavěny do řady. Tento pás slouží k dopravě sklenic k zapalovacímu stroji a dál k výstupní kontrole. Zapalovací stroj je karusel. Karusel zpracovává tuto řadu. Po výstupní kontrole jsou sklenice buďto přímo baleny paletovány, nebo jsou určeny pro další zušlechťování (broušení, leštění, atd.).



Obr. 1 – Stavba linky LINKUŽ

Elektrické kontinuální agregáty (vany) – slouží ke kontinuálnímu tavení skloviny pro strojní výrobu nápojového a dekorativního skla.

Zakládání vsázky, tavení a čeření skloviny probíhá v nepřetržitém provozním režimu. Sklářský kmen je zakládán na hladinu roztavené skloviny a vytváří zde vrstvu bránící přílišnému úniku těkavých látek do ovzduší. Provoz zakládání kmene je řízen automaticky. Tavení vsázky je zajištěno odporovým ohřevem při průchodu elektrického proudu o regulovaném napětí 100–140 V roztavenou sklovinou mezi molybdenovými elektrodami ponořenými v tzv. tavní části agregátu. Agregáty jsou konstruovány tak, aby při výkonu 90 – 110 % jmenovité tavní kapacity odtékala vyčeřená a homogenní sklovina tzv. průtokem ve dně tavní části do části odběrové, tzv. feederů, jimiž jsou zásobovány automatické linky na strojní výrobu užitkového skla a v nichž dochází ke konečné tepelné homogenizaci a dočeření skloviny. Prach a nečistoty, vznikající při provozu tavních agregátů, jsou z prostorů zakládání a z prostorů tavení odsávány ventilátory (3 ks, tzn. 1 ks pro 1 agregát, jmenovité výkony cca 8000 m³/h) přes odlučovače s textilní filtrační vložkou mimo prostor haly.

Technické parametry linky na výrobu užitkového skla (LINKUŽ):

V rámci automatizace jsou linky dle vlastní konstrukce Crystalex a.s. vybaveny sklářskými tavícími agregáty s výkonem 1000 kW. Agregáty jsou odvětrávané a vybavené filtračním zařízením.

Jednotlivé výrobní linky mají vysokou projektovou kapacitu s vysokou variabilitou vyráběného sortimentu. Linky se odlišují jak výrobní kapacitou, tak způsobem otopu chladicí pásové pece (tab 2.).

Tab. 1 – Technické parametry kontinuálních agregátů

č. agregátu	název	projektovaná kapacita	navazující linky
108	L1	24,0 t skloviny/den	Linkuž 1, 5
109	L2	21,5 t skloviny/den	Linkuž 2, 8
111	L7	26,0 t skloviny/den	Linkuž 7
110	L3	19,0 t skloviny/den	Linkuž 3, 9

Tab. 2 – Technické parametry linky linkuž

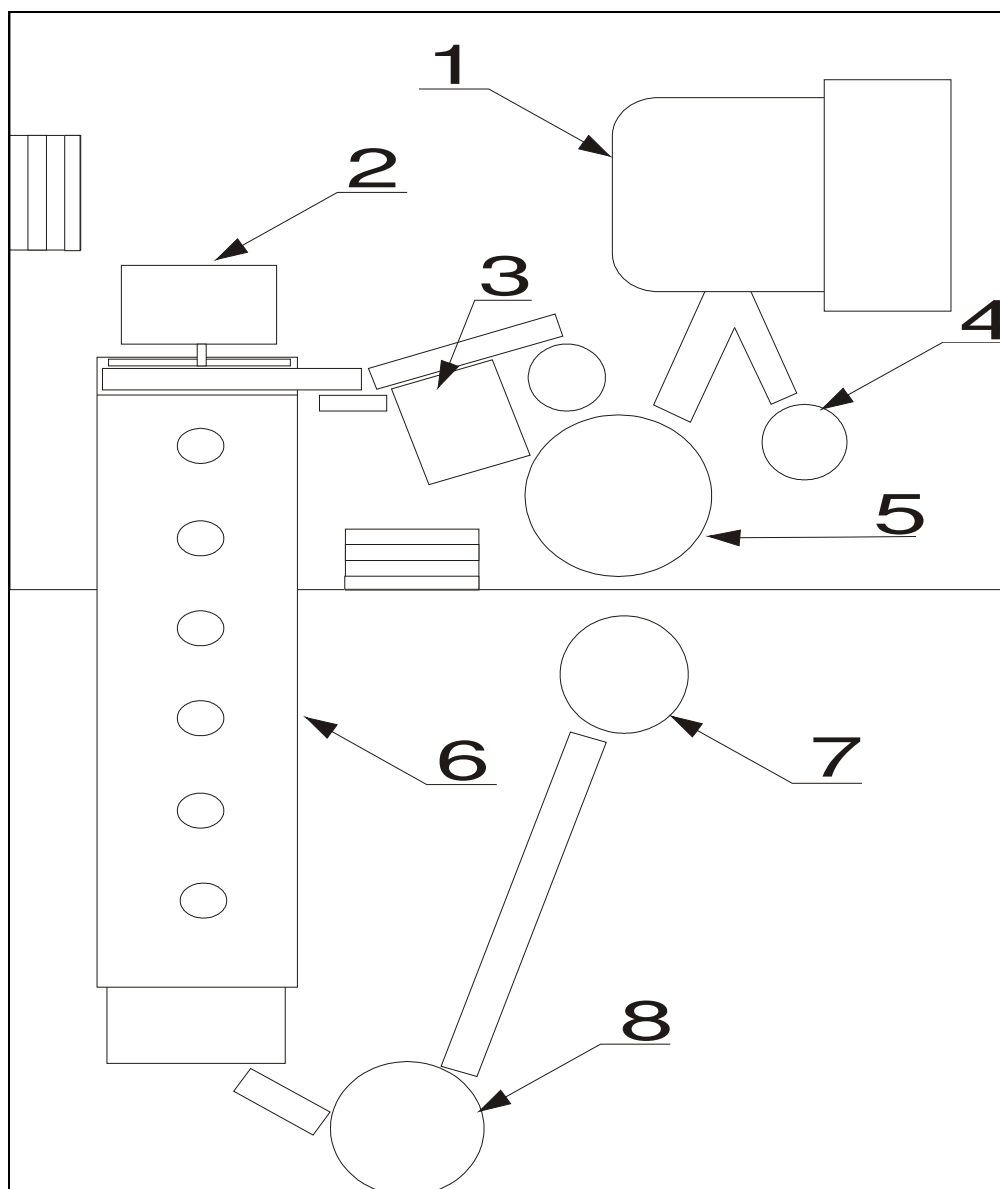
Parametr	Linka				
	Linkuž 1	Linkuž 2	Linkuž 5	Linkuž 7	Linkuž 8
Projektovaná kapacita	12t výrobků/ den	10,75t výrobků / den	12t výrobků/ den	26t výrobků/den	10,75t výrobků/den
Způsob otopu	Elektrický otop	Plynový otop	Elektrický otop	Plynový otop	Plynový otop

U všech linek se používá variabilně dalších až cca 10 ks malých pomocných plynových hořáků (tzv. přihřevů) dle potřeb technologie (např. pro ohřev forem linkuž, pro ohřev dopravních cest, kterými se dopravují výrobky do pásových chladících pecí a pro další nezbytné ohřevy) o jmenovitém výkonu cca 3 – 5 kW. K otavování ostrých hran výrobků se používá až cca 10 ks jednoduchých plynových hořáků o jmenovitém výkonu cca 3 kW.

Poznámka:

Emise z linkuž, včetně chladících pecí, jsou vypouštěny do pracovního prostředí. Strojní vybavení linek je variabilní v závislosti na vyráběném sortimentu, tzn. některé stroje nemusí být stále v chodu.

1. 2 Schéma linky LINKUŽ

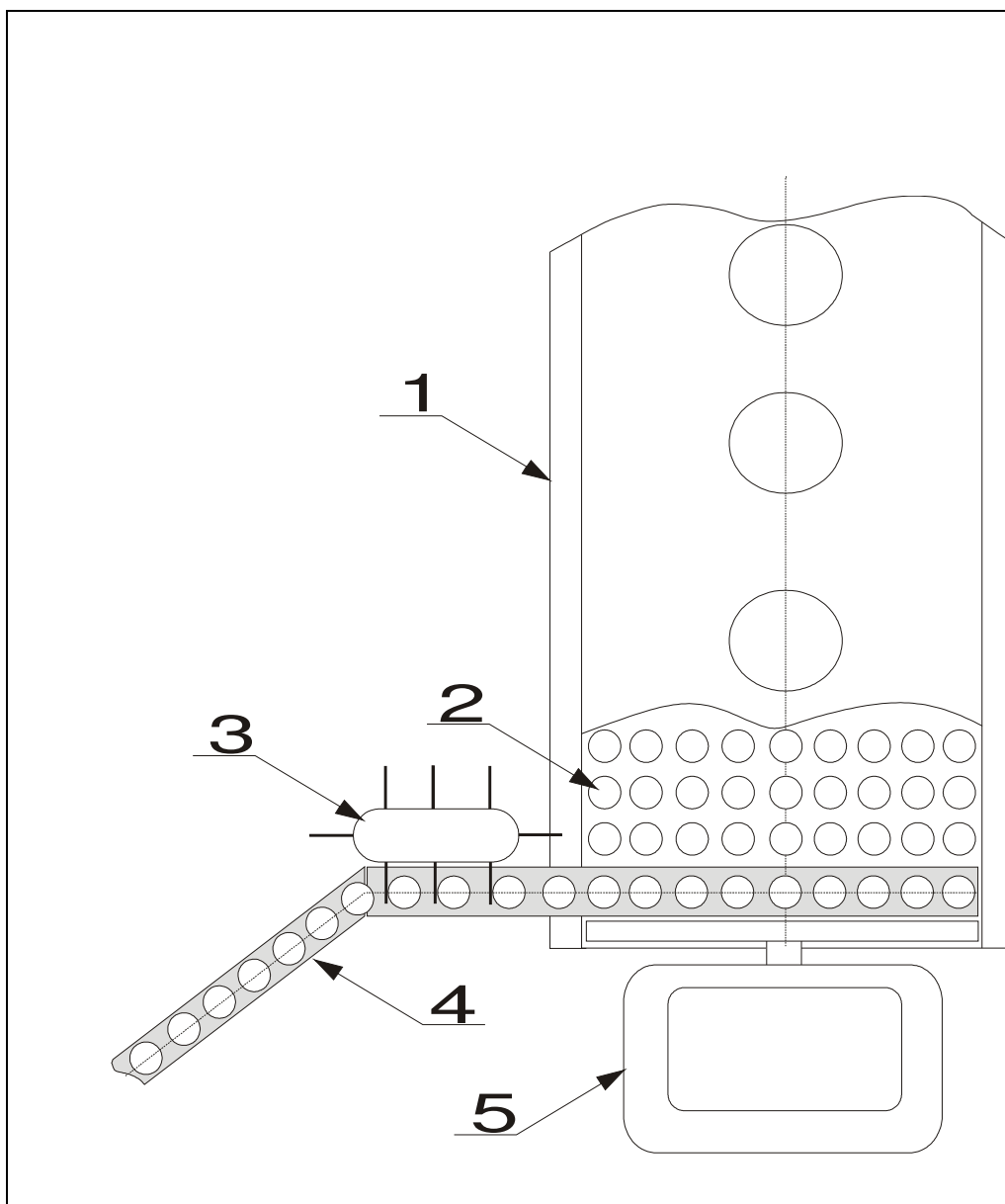


Obr. 2 – Linkuž 9: 1) Sklářský tavící agregát, 2) Manipulační zařízení s hradlem, 3) Laserový opukávací stroj, 4) Karuselový lis dýnek, 5) Lisofoukací stroj, 6) Pásová chladicí pec, 7) Mycí zařízení a sušící zařízení 8) Zakládací karusel do opukávacího a brousícího stroje

1. 3 Rozbor automatické manipulace s polotovary na vstupu do chladicí pece na lince

Půdorysný pohled na manipulační pracoviště je na obr. 3. Prostor pro manipulaci s polotovary se nachází mezi výstupním dopravníkem laserového opukávacího stroje a začátkem pásové chladicí pece.

Přesun polotovarů z dopravníku na začátek pásu chladící pece je realizován pomocí hradla, které polotovary přesune na pás. Pás chladící pece se pohybuje rychlostí 250 – 350 mm/min. Polotovary jsou uspořádány v řadách o počtu 9 – 13 kusů. Rozteče jednotlivých řad jsou v rozmezí 130 – 180 mm. Výše uvedené parametry jsou závislé na taktáži lisofoukacího stroje a druhu sortimentu.



Obr. 3 – Manipulační pracoviště: 1) Pásová chladící pec, 2) Řada polotovarů, 3), Manipulátor pro stanovení rozestupů polotovarů 4) Vstupní dopravník, 5) Manipulátor s hradlem

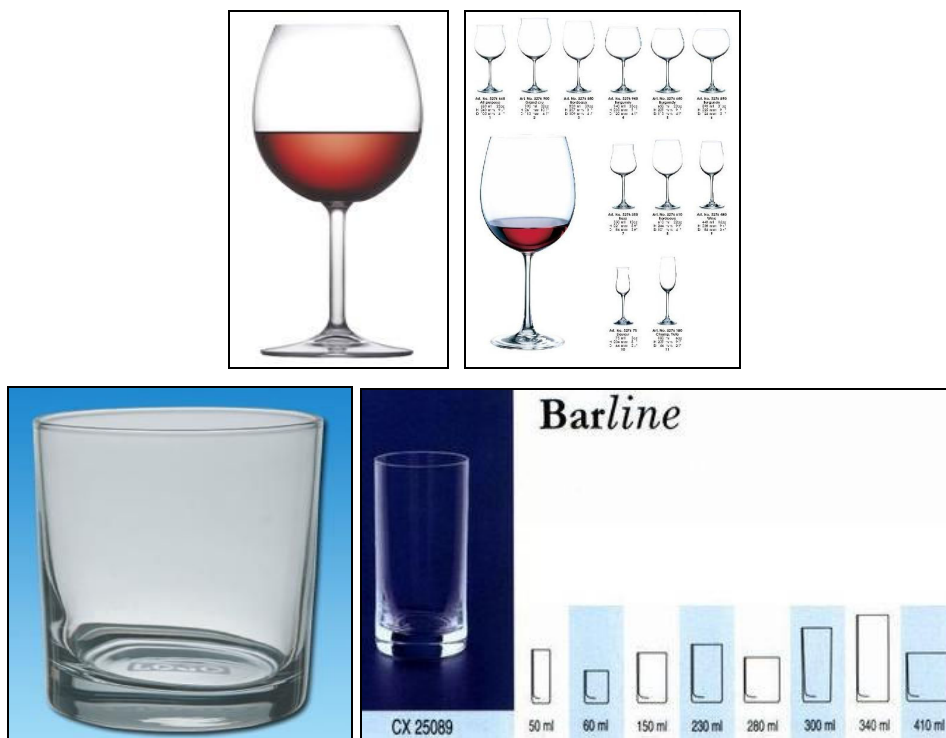
1. 4 Požadavky na řešení automatické manipulace

Manipulační zařízení musí splňovat požadavky pro různorodé tvarové a rozměrové parametry vyráběného sortimentu, stejně jako požadavek plynulého odnímání polotovarů z dopravníku laserového opukávacího stroje a rovnoměrného zásobení pásové chladicí pece.

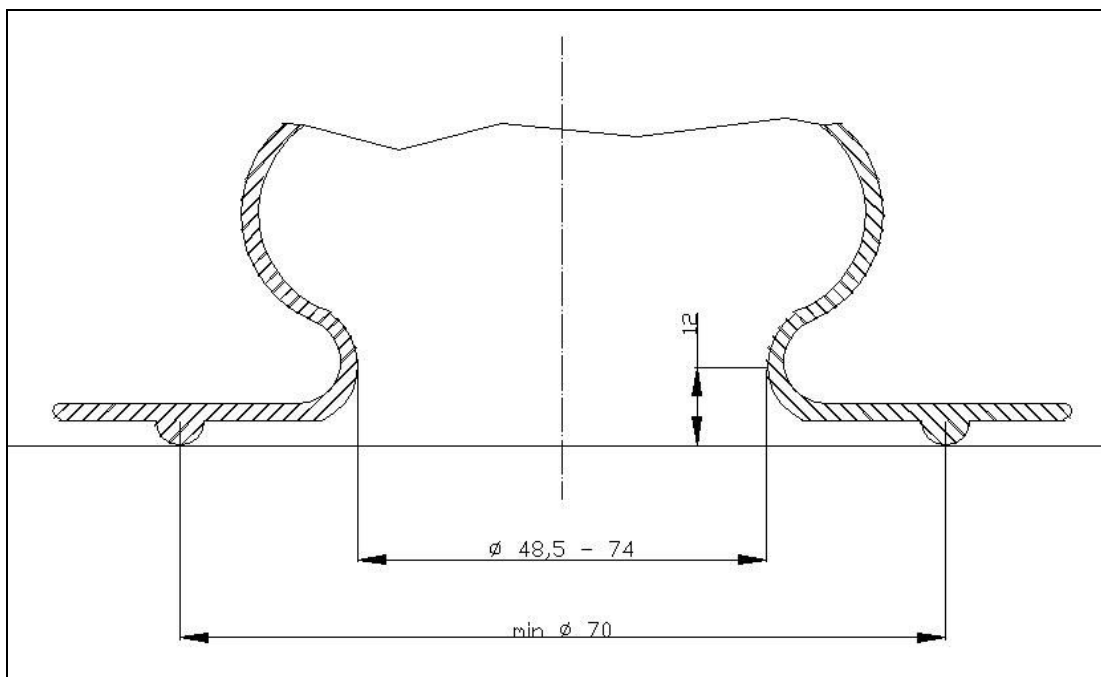
1. 5 Analýza vlivu sortimentu

Vyráběný sortiment lze rozdělit na sklenky (sortiment s nožkou) a na odlivky (sortiment bez nožky) jejich přehled je uveden v tabulce 3. Výrobky různých velikostí zachovávají danou tvarovou linii. Těchto tvarových setů se vyrábí cca 20. Ukázka různých setů je na obr. 4.

Přemístění sklenic a odlivků z příčného pásu na pás chladicí pece probíhá pomocí hrabla, které zasune řadu polotovarů do pece (obr. 3). Z hlediska manipulace je též důležitá kopna, která je tvarově shodná pro obě skupiny polotovarů a liší se pouze velikostí dle příslušného sortimentu. Základní rozměry kopny jsou na obr. 5.



Obr. 4 – Ukázka přenášeného sortimentu



Obr. 5 – Geometrie kopny

1. 6 Analýza rozměrů výrobků

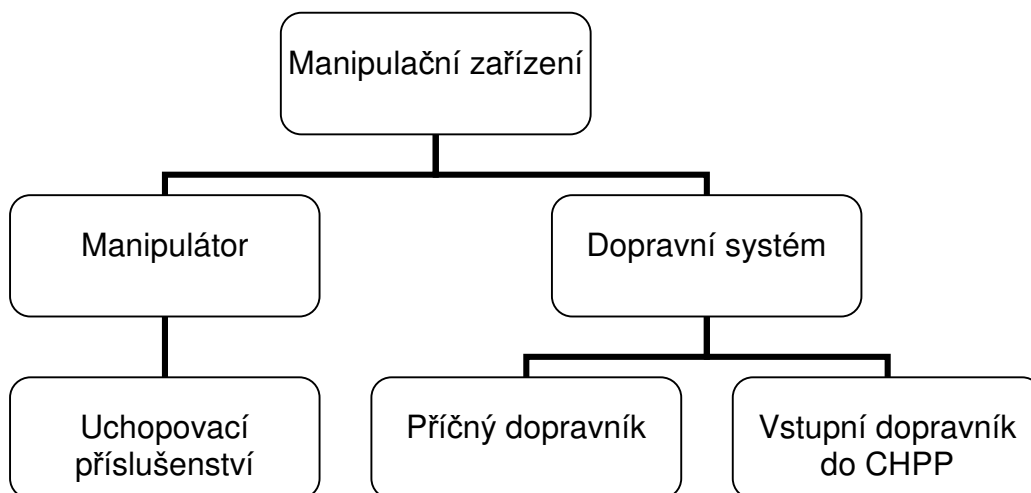
Uvedené parametry mají rozhodující vliv na konstrukci uchopovacích prvků manipulačního zařízení.

Tab. 3 – Rozměry sortimentu

Sklenky		Odlivky	
Výška (mm)		Výška (mm)	
min.	max.	min.	max.
90	290	55	170
Průměr dýnka (mm)		Průměr dýnka (mm)	
min.	max.	min.	max.
50	97	23	87
Výška kalichu (mm)			
min.	max.		
45	160		

1. 7 Analýza manipulační úlohy

Manipulační úloha je realizována manipulačním zařízením (obr. 6), které je tvořeno manipulátorem a dopravním systémem.



Obr. 6 – Manipulační prvky

Manipulační úloha sestává ze základní operace, která spočívá v uchopení řady polotovarů na segmentovém pásu dopravníku opukávacího laserového stroje a následném přenesení na pás chladicí pece.

1. 8 Vliv manipulační úlohy

Navržené manipulační zařízení musí splňovat několik základních podmínek. V první řadě je nutno vyhledat řadu polotovarů na příčném pásu laserového opukávacího stroje, který koná kontinuální pohyb, což předpokládá chapadlo vybavené optosnímačem. Z toho vyplývá potřeba, aby pohyb chapadla byl realizován řízenými pohybovými jednotkami v horizontálním a vertikálním směru.

1. 9 Přehled technických parametrů

Zde jsou přehledně uvedeny parametry, které mají hlavní vliv na konstrukční řešení manipulačního zařízení a základní rozměry rámu manipulátoru (obr. 7), ze kterých je patrný i manipulační prostor:

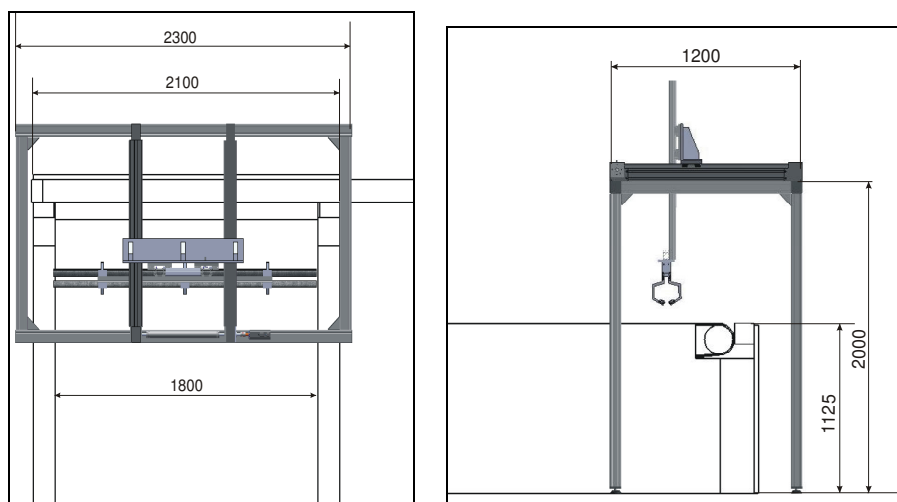
Rychlost pohybu pásové chladicí pece:	250 – 350 mm/min.
Počet polotovarů v jedné řadě:	9 – 13 ks.
Vzdálenost mezi odnímacím místem z příčného pásu a vkládacím místem v chladicí peci:	300 mm.
Velikost posuvu manipulátoru při přesunu řad polotovarů do pásové chladicí pece:	300 mm.
Taktáž linky (závisící na druhu sortimentu):	19 – 27 ks/min.

Média pro pohon zařízení:

- elektrická energie;
- rozvod tlakového vzduchu.

Cíle nového řešení manipulačního zařízení:

- práce v nepřetržitém provozu;
- zajistit požadovanou taktáž;
- možnost přenesení a manipulace s veškerým sortimentem;
- minimální počet operací při změně sortimentu (cca každé dva dny, čas na úpravu 60 – 180 minut dle sortimentu) ;
- odstranit stereotypní práci.



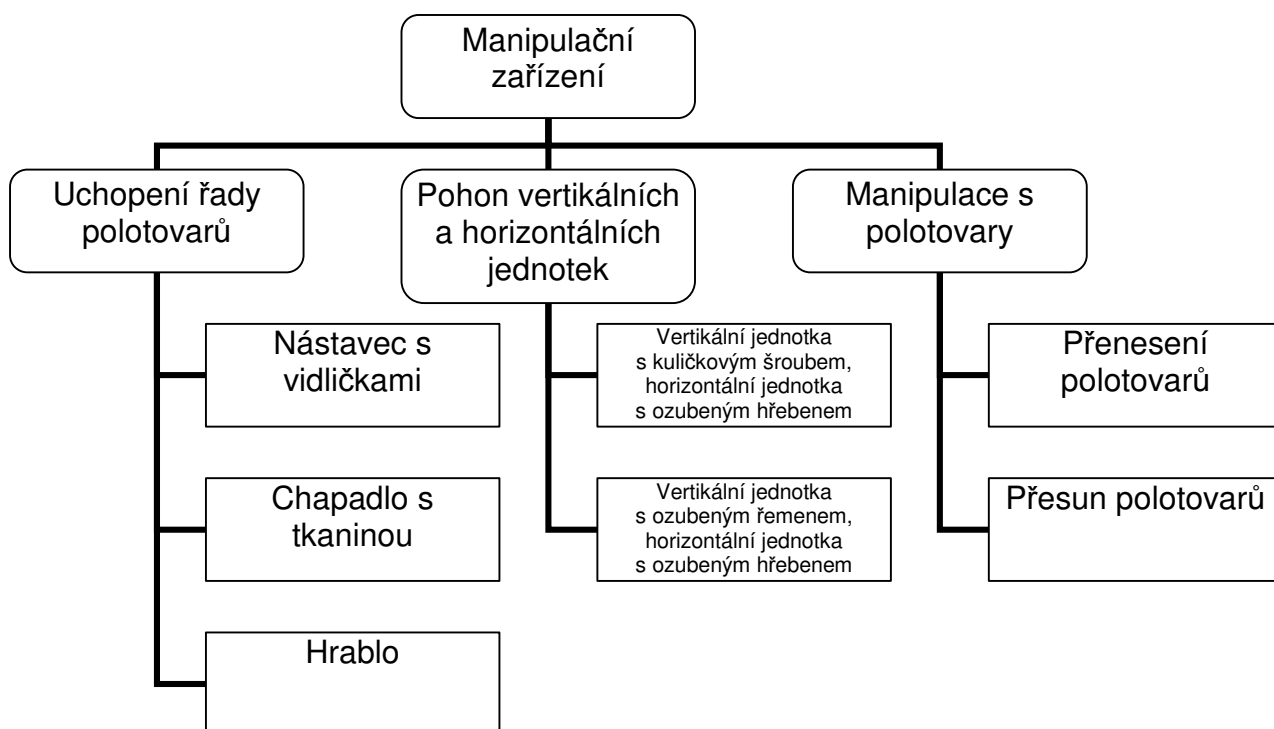
Obr. 7 – Rozměry rámu manipulátoru

2. ALTERNATIVNÍ NÁVRHY MANIPULAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

Při výběru koncepce manipulačního zařízení byly brány v úvahu tyto základní parametry:

- a) plynulé zásobování pásové chladicí pece polotovary;
- b) minimální počet a nároky přeseřizovacích operací při změně sortimentu;
- c) jednoduchost a spolehlivost konstrukce;
- d) předpoklad investičních nákladů.

Nyní bude proveden rozbor koncepčních návrhů, který bude rozdělen do tří kapitol, viz obr. 8. V první kapitole budou zhodnoceny návrhy z hlediska uchopení řady polotovarů. Druhá kapitola se zabývá pohony jak vertikálních tak horizontálních jednotek. Poslední kapitola se týká manipulace s polotovary. V rozboru budou zváženy výhody a nevýhody daných návrhů, jejich posouzení a poté pomocí rozhodovací analýzy vybrány nejvhodnější varianty pro uchopení řady polotovarů a pro pohon jednotek.



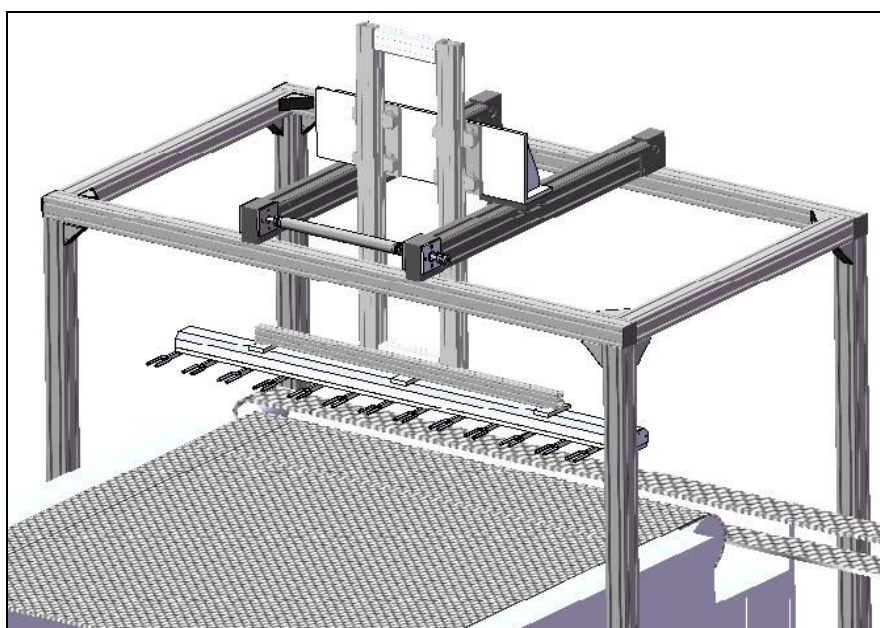
Obr. 8 – Rozbor variant

2. 1 Návrhy uchopení řady polotovarů

V tomto návrhu budou srovnány tři varianty uchopení polotovarů.

Varianta A1 – kartézský manipulátor s odnímací vidlicí

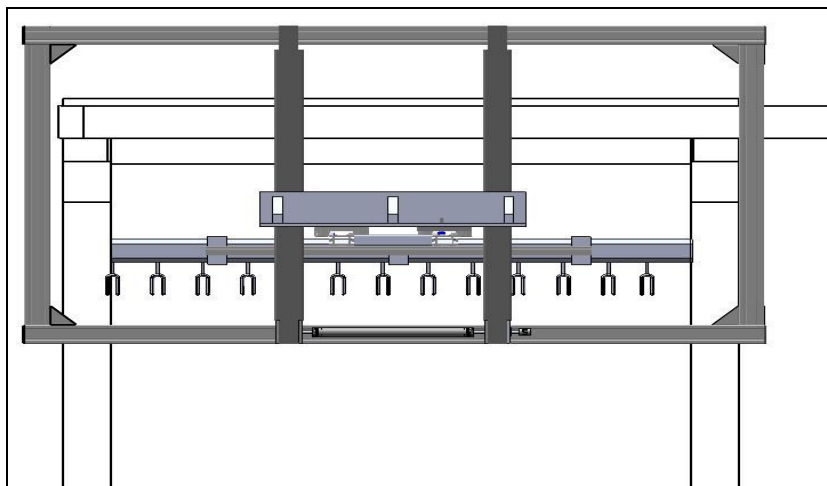
První variantou bylo uvažováno přenášení řady polotovarů pomocí vidliček. Formou 3D modelu je znázorněno uspořádání manipulátoru s vidličkami na obr. 9.



Obr. 9 – Varianta A1

Zde dochází k uchopení řady polotovarů pomocí sady vidliček (obr. 11), které jsou přichyceny na nástavci. Manipulátor s vidličkami přijede k řadě polotovarů a dojde k jejich uchopení, ty poté vyzvedne na požadovaný zdvih a přesune nad pás chladicí pece, kde je následně odloží. Po odložení řady se manipulátor vrátí do své původní polohy.

Každá vidlička je obalena tkaninou (Promaflex 1000), která zaručí, že při styku s polotovary nedojde k poškození polotovarů nebo vzniku mikrotrhlin. Konstrukce vidličky je uzpůsobena tak, že může uchopit většinu kalíškového sortimentu (obr. 12).



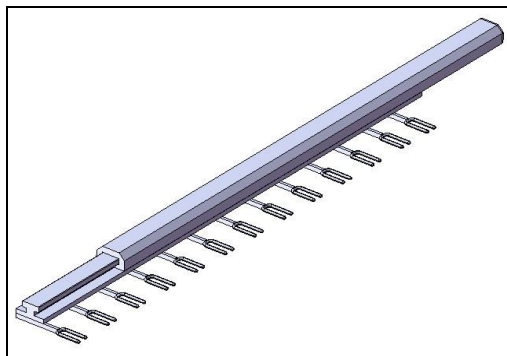
Obr. 10 – Půdorysný pohled na sestavu A1

Výhody varianty A1:

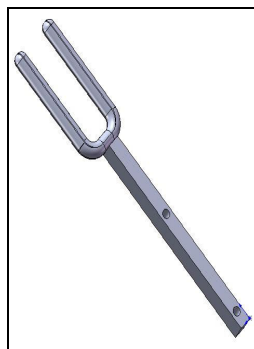
- snadná manipulace s kalíškovými polotovary;
- plynulé zásobování pásové chladicí pece;
- univerzálnost vidličky.

Nevýhody varianty A1:

- pomocí vidliček nelze přenášet odlivkový sortiment;
- dochází ke styku mezi vidličkami a polotovary;
- jestliže dojde ke změně sortimentu a zároveň ke změně počtu polotovarů v přenášené řadě, je nutné vyměnit nástavec s vidličkami;
- konstrukce vidličky neumožňuje stabilní uchopení polotovarů, hrozba pádu.



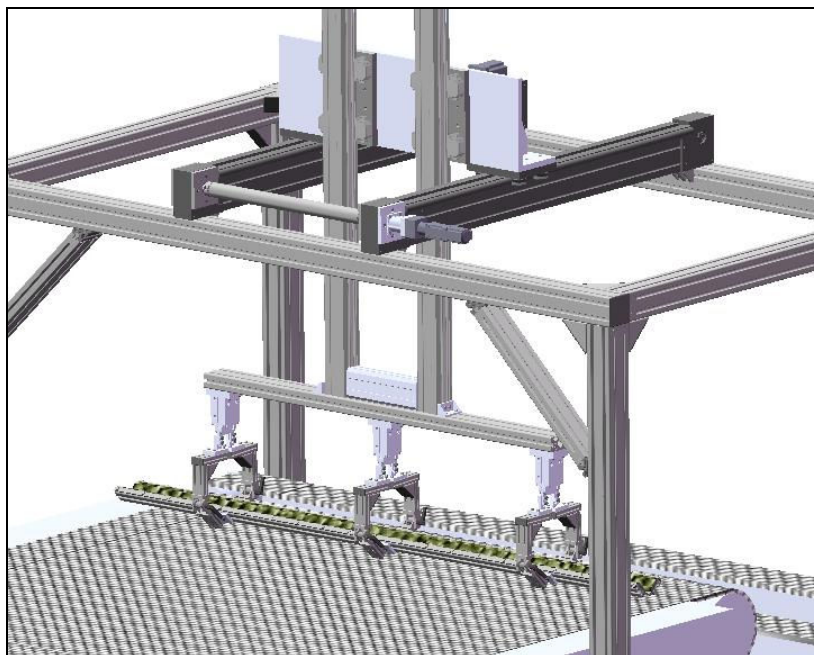
Obr. 11 – Nástavec s vidličkami



Obr. 12 – Vidlička

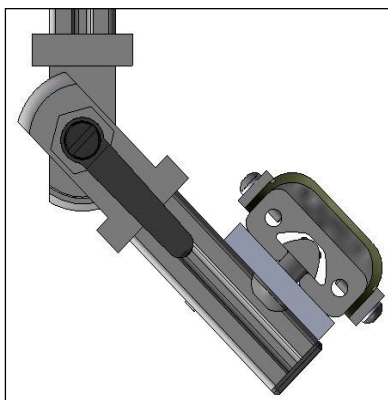
Varianta A2 – Kartézský manipulátor s chapadlem

Jako druhá varianta byla navržena koncepce s chapadlem, jejíž 3D model je na obr. 13.



Obr. 13 – Varianta A2

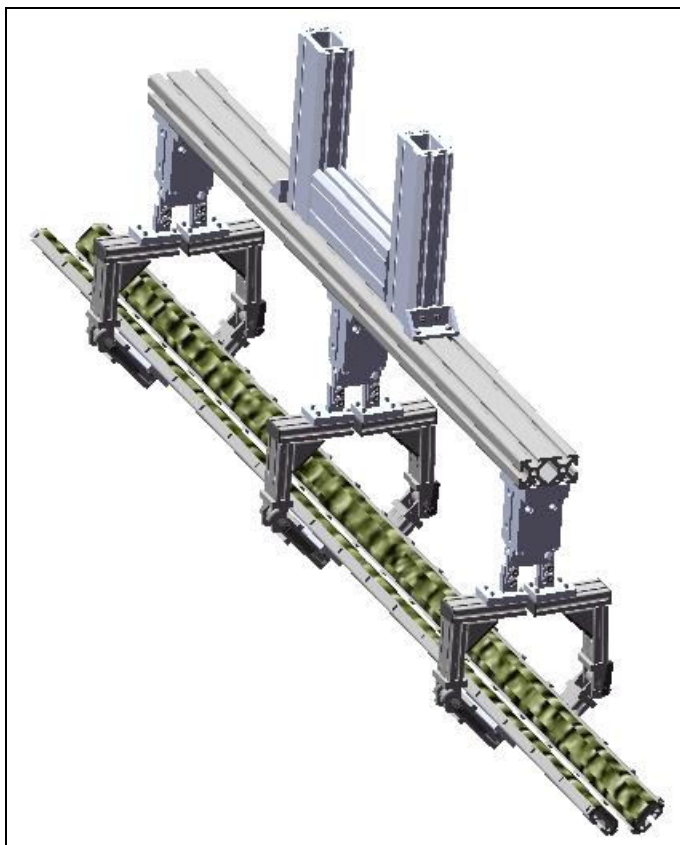
V této variantě se polotovary uchopují pomocí podélného chapadla. Řada polotovarů přijede po příčném dopravníku laserového opukávacího stroje, následně je uchopena chapadlem a přenesena na pás chladicí pece. Po odložení řady se manipulátor vrátí do původní polohy. Chapadlo je tvořeno třemi chapadly značky Festo HGW – 32A a dvěma podélnými lištami, které jsou k těmto chapadlům připevněny. Na lištách je připevněna látka (PROMAFLEX®) s vystýlkou (obr. 14), která je šetrná k povrchu polotovarů a zajišťuje velmi dobré uchopení.



Obr. 14 – Lišta s připevněnou tkaninou

Charakteristika tkaniny PROMAFLEX®:

- je tepelně odolnou tkaninou obsahující minimálně 94% SiO_2 .
- pružný materiál odolávající vysokým teplotám;
- pružnost i při vysokých teplotách;
- vysoká pevnost v tahu;
- zajišťuje ochranu a izolační schopnosti i při výdrži na teplotě až 1260 °C.



Obr. 15 – Chapadlo s lištami

Výhody varianty A2:

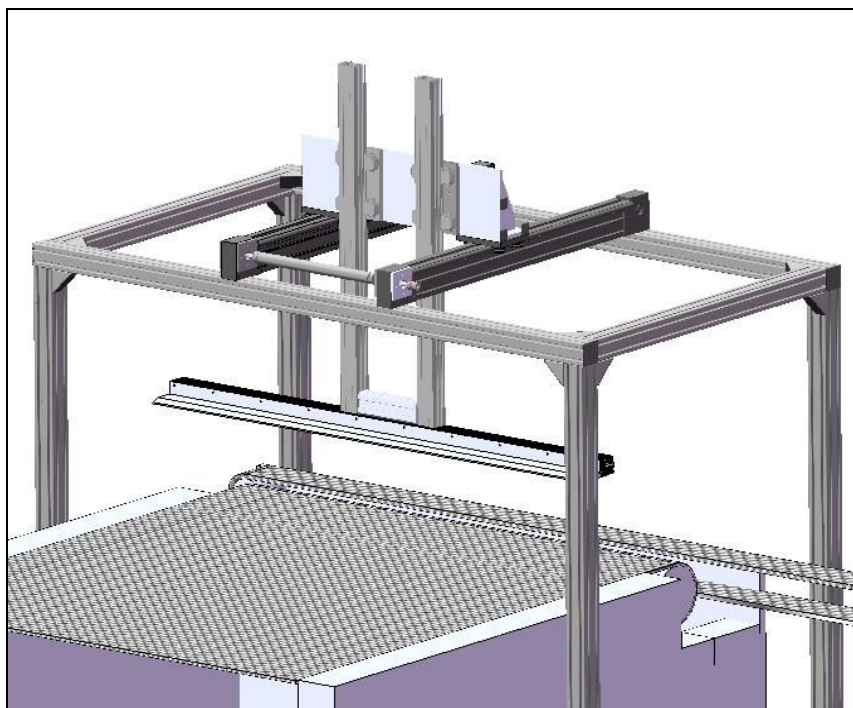
- snadná manipulace s polotovary;
- plynulé zásobování pásové chladicí pece polotovary;
- není třeba výměna lišt při změně sortimentů, jako tomu bylo u první varianty;
- pomocí vycpané tkaniny dojde k bezpečnému a zároveň k pevnému uchycení polotovarů;
- nedochází k poškozování povrchu polotovarů.

Nevýhody varianty A2:

- při poškození tkaniny je nutná výměna celé lišty;
- při změně z kalíškového sortimentu na sortiment odlivkový je nutná výměna nástavců s lištami.

Varianta A3 – Manipulátor s upevněným hrablem

Třetí varianta koncepce manipulačního zařízení je realizována hrablem, které je zobrazeno na obrázku 16.



Obr. 16 – Varianta A3

U této varianty nedochází k uchopení polotovarů, ale k přesunu celé řady polotovarů z příčného pásu laserového opukávacího stroje na pás chladicí pece. Přesun je proveden pomocí hrabla. Obdobná varianta je použita v závodě Crystalex.

Výhody varianty A3:

- snadná manipulace s polotovarý spočívá jen v přesunu;
- plynulé zásobování pásové chladicí pece polotovary.

Nevýhody varianty A3:

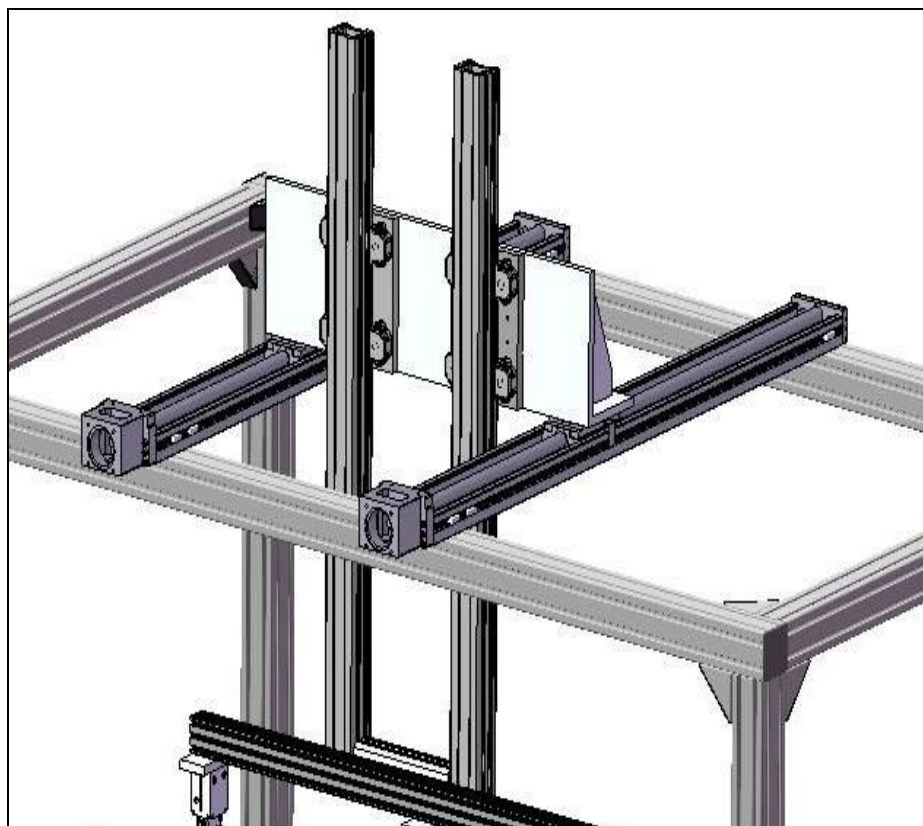
- dochází ke styku mezi hrablem a polotovary;
- možnost vzniku mikrotrhlin v místě styku;
- při změně sortimentu je třeba dbát na správné nastavení výšky hrabla;
- možnost převržení polotovaru a vznik dominového efektu v chladicí peci.

2. 2 Pohon vertikálních a horizontálních jednotek

V této kapitole budou porovnány pohony jak vertikální, tak horizontální jednotky manipulátoru. Jsou zde navrženy dvě varianty, u každé z nich jsou zváženy výhody a nevýhody.

Varianta B1 – Pojezd s kuličkovým šroubem

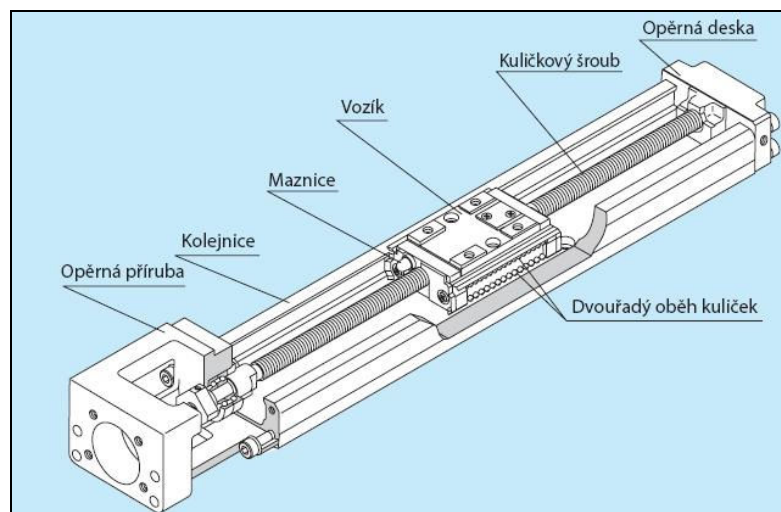
V tomto návrhu byl zvolen pojezd realizovaný vedením s kuličkovým šroubem a ozubeným hřebenem (obr. 17).



Obr. 17 – Varianta B1

V této variantě je použito lineární vedení s integrovaným kuličkovým šroubem pro horizontální pohyb. Pro pohyb vertikální je použito vedení s ozubeným hřebenem.

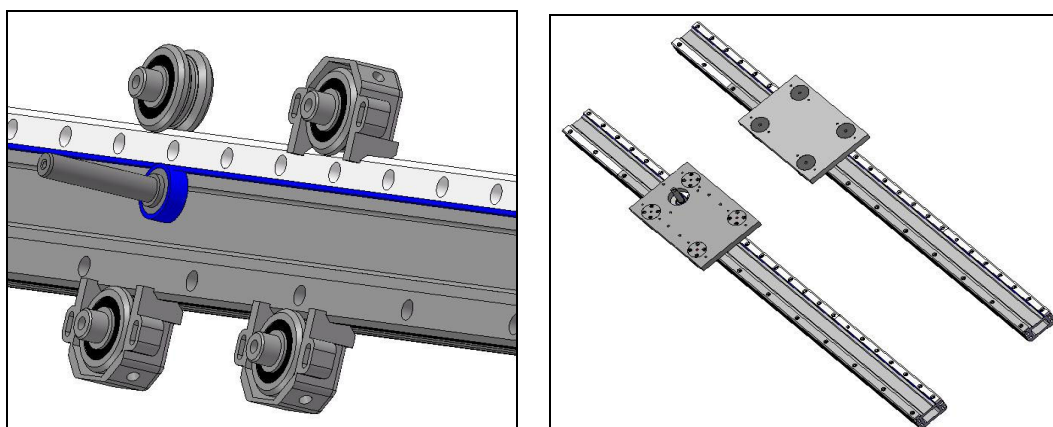
Obě vedení jsou zobrazena v nadcházejících obrázcích.



Obr. 18 – Lineární vedení s integrovaným kuličkovým šroubem

Lineární jednotka (obr. 18) má vysokou tuhost a velice přesnou funkci. Je to díky důmyslné konstrukci, kde je integrována kolejnice, jejíž profil ve tvaru U je velice tuhý, se dvěma valivými jednotkami na obou bočních stěnách vozíku a s kuličkovým šroubem ve středu vozíku. Každá řada kuliček je umístěna pod dotykovým úhlem 45° , takže zatížení působící na blok pouzdra ve čtyřech směrech vykazují stejné jmenovité zatížení. Díky tomu můžeme lineární jednotku KR použít v jakékoliv poloze.

Lineární vedení s ozubeným hřebenem (obr. 19) se používají v případech, kdy je třeba zajistit velmi přesné polohování, dobrou mechanickou účinnost a spolehlivost. Mezi další výhody patří malá náročnost na údržbu, vysoká životnost, přesné dodržení převodového poměru a schopnost přenosu i velkých výkonů.



Obr. 19 – Detail lineárního vedení s ozubeným hřebenem

Výhody varianty B1:

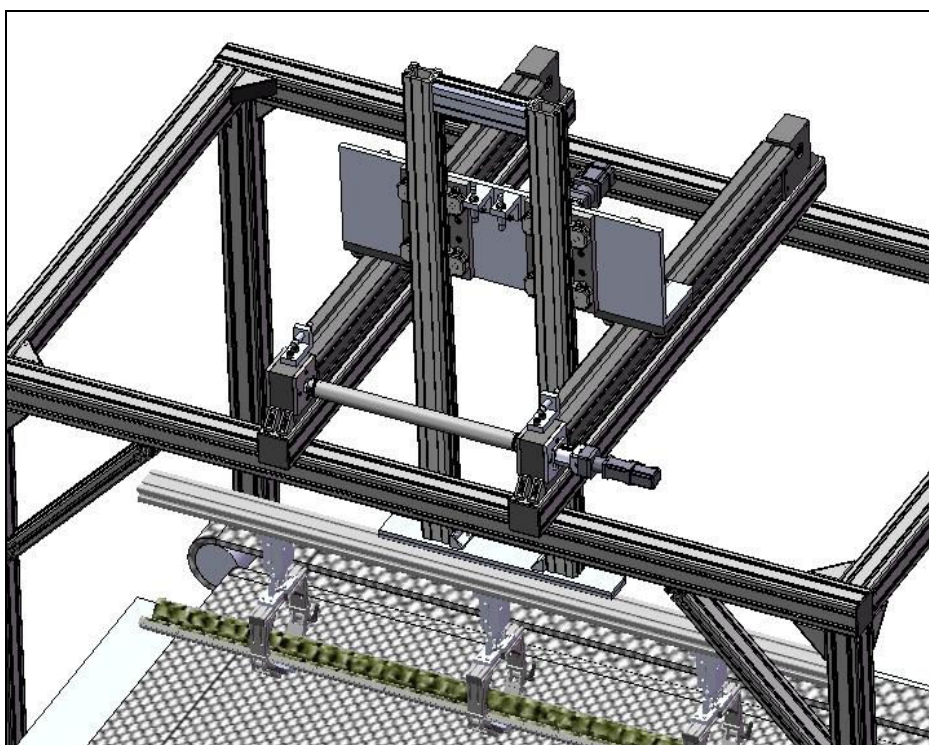
- lineární jednotka s kuličkovým šroubem má vysokou tuhost a přesnou funkci;
- toto vedení s kuličkovým šroubem lze využít i k vertikálnímu pohonu;
- vedení s ozubeným hřebenem mají vysokou přesnost v polohování a opakovatelnost, snesou i velkou zátěž.

Nevýhody Varianty B1:

- vysoká cena lineární jednotky s kuličkovým šroubem;
- vysoká hlučnost provozu horizontálního vedení.

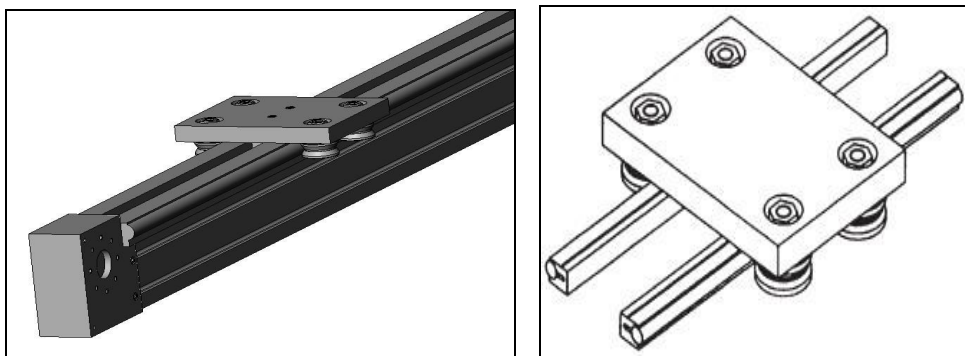
Varianta B2 – Pojezd s ozubeným řemenem

Druhá varianta pohonu manipulačního zařízení je znázorněna na obr. 20.



Obr. 20 – Varianta B2

Zde je použito lineární vedení s ozubeným řemenem pro horizontální pohyb. Pro pohyb vertikální je použito vedení s ozubeným hřebenem. Vedení je zobrazeno v nadcházejících obrázcích 21.



Obr. 21 – Detail lineárního vedení s ozubeným hřebenem

Výhody varianty B2:

- lineární jednotka s ozubeným řemenem má nízkou hlučnost provozu, nízké náklady na údržbu, umožňuje vysoké obvodové rychlosti;
- pro pohon obou vedení s ozubeným řemenem je potřeba jen jeden motor.

Nevýhody Varianty B2:

- nehodí se pro provoz ve vysokých teplotách.

2. 3 Manipulace s řadou polotovarů

V této kapitole bude poukázáno na manipulaci s řadou polotovarů z hlediska přenosu a přesunu.

2. 3. 1. Přenos řady polotovarů

Výhody:

- nedochází k porušení (poškrábání) dna polotovarů jako u přesunu;
- nehrozí převržení polotovarů.

Nevýhody:

- náročnější manipulace s polotovary (vyšší nároky na manipulátor).

2. 3. 2. Přesun řady polotovarů

Výhody:

- jednoduchým pohybem dojde k přemístění řady polotovarů;
- u odlivkového sortimentu se jedná o jednoduchou manipulaci, která nepředstavuje náročné nastavování výšky hrabla, kterým je sortiment přesouván.

Nevýhody:

- u kalíškového sortimentu hrozí velké nebezpečí převržení z hlediska stabilitních poměrů;
- může dojít k porušení polotovarů, především dýnek, vlivem přesunu po ocelovém pásu.

Po zvážení výhod a nevýhod u jednotlivých manipulací byla zvolena metoda přenosu, která je sice složitější, ale šetrnější k polotovarům.

2. 4 Analýza variant

Nejvhodnější varianta z výše uvedených variant byla vybrána pomocí rozhodovací analýzy. Účelně spojuje přednosti empirického a exaktního rozhodování a postihuje užité vlastnosti i zápory posuzovaných variant.

V této rozhodovací analýze byly posuzované návrhy rozděleny do dvou okruhů. V prvním okruhu (varianta A1, A2, A3) se posuzuje způsob uchopení a v druhém okruhu (varianta B1, B2) se posuzuje volba horizontálního a vertikálního vedení. Oba okruhy jsou vybírány dle stejných kritérií.

2. 4. 1 Kritéria výběru:

- 1) Spolehlivost
- 2) Teplotní odolnost
- 3) Celková hmotnost a příslušenství
- 4) Omezení pracovního prostoru
- 5) Investiční náklady

2. 4. 2 Posuzované varianty

Varianta A1: – odejmutí polotovarů pomocí vidliček umístěných na příčném hrable;

- a) ústrojí se sadou vidliček;
- b) pojezd tvořený vertikálním a horizontálním lineárním vedením.

Varianta A2: – odejmutí polotovarů pomocí chapadla umístěném na lineárním vedení;

- a) vertikální vedení s chapadlem;
- b) pojezd tvořený vertikálním a horizontálním lineárním vedením.

Varianta A3: – přesun řady polotovarů pomocí hrabla;

- a) horizontální jednotka s připevněným hrablem.

Varianta B1: – vedení vertikální a horizontální jednotky;

- a) horizontální jednotka tvořená vedením s kuličkovým šroubem;
- b) vertikální jednotka tvořená vedením s ozubeným hřebenem.

Varianta B2: – vedení vertikální a horizontální jednotky;

- a) horizontální jednotka tvořená vedením s ozubeným řemenem;
- b) vertikální jednotka tvořená vedením s ozubeným hřebenem.

2. 5 Výběr varianty pro konstrukční řešení

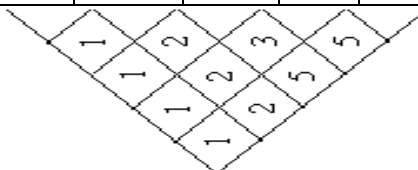
Podle rozhodovací analýzy, která je zahrnuta v tabulce, 4 byla zvolena varianta **A2** kombinovaná s variantou **B2**.

Tato varianta byla konstrukčně zpracována formou dílčí dokumentace.

2. 6 Výběrová analýza

Tab. 4 – Rozhodovací analýza

Párové srovnání kritérií										
	X		A1		A2		A3		B1	
	Hodnota		Hodnota		Hodnota		Hodnota		Hodnota	
	PROSTÁ UŽITNOST	VÁŽENÁ UŽITNOST	PROSTÁ UŽITNOST	VÁŽENÁ UŽITNOST	PROSTÁ UŽITNOST	VÁŽENÁ UŽITNOST	PROSTÁ UŽITNOST	VÁŽENÁ UŽITNOST	PROSTÁ UŽITNOST	VÁŽENÁ UŽITNOST
KRITÉRIUM	1	100	60	300	90	450	60	300	80	400
	2	100	70	280	80	320	80	320	60	240
	3	100	60	120	60	120	70	140	60	120
	4	100	60	60	80	80	70	70	70	70
	5	100	70	210	60	180	80	240	70	240
CELKEM	1500		970		1150		1070		1040	
UŽITNOST (%)			65		77		71		69	
POŘADÍ ALTERNATIV			3		1		2		2	



Pozn.: Varianta X představuje nejvhodnější variantu, slouží pro porovnání, proto jí přiřazujeme 100.

3. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MANIPULAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

3. 1 Popis konstrukčního řešení manipulátoru

V této kapitole bude popsáno konstrukční řešení manipulátoru, který odnímá řady polotovarů z konce pásu laserového opukávacího stroje. Manipulátor se skládá z chapadla a vlastního manipulátoru.

3. 1. 1 Konstrukce chapadla

Při konstrukčním řešení chapadla bylo přihlédnuto k těmto parametrům, které musí splňovat:

- bezpečné uchopení řady polotovarů;
- vyvarovat se kolizi s řadou polotovarů, která je již na pásu chladicí pece, nebo s nadcházejícími polotovary, které přijíždějí po pásu laserového opukávacího stroje;
- univerzálností schopných prvků.

Základem příslušenství, které ponese chapadlo, je extrudovaný hliníkový profil 8_80x80 firmy ITEM. Na tomto profilu je pomocí spojovacího materiálu uchyceno chapadlo.

A. Návrh úchopné hlavice

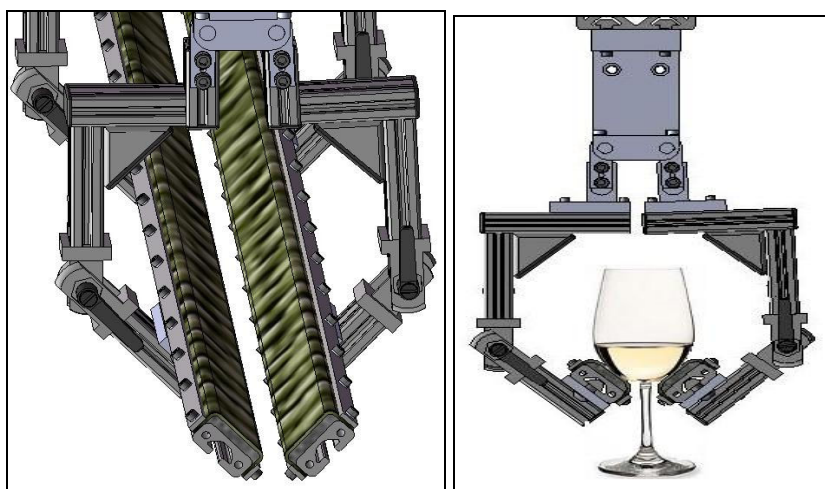
Návrh úchopné hlavice je podmíněn vlivu sortimentu a počtu polotovarů na příčném páse laserového opukávacího stroje (kapitoly 1.4, 1.5 a 1.9).

Na základě těchto parametrů bylo navrženo pneumatické samostředící úhlové chapadlo firmy Festo, HGW-32-A, které je schematicky znázorněno spolu se zapojením na obrázku 22. Na schématu jsou u každého chapadla znázorněny zpětné ventily (pozice 9), které mají ochranou funkci. Zajišťují, že při náhlém vypnutí nebo ztrátě signálu nedojde k rozevření chapadel. Na každé větvi, která vede k chapadlům je připojen regulační tlakový ventil (pozice 31) a tlakový spínač (pozice 27). Tlakový spínač, opatřený LED diodou, je nastaven na požadovaný tlak a dle signalizace diody lze pomocí regulačního ventilu dokorigovat potřebný tlak na každé větvi. Součásti jsou uvedeny příloze 5.

Díky konstrukci tohoto chapadla je velikost úchopné síly závislá na úhlu rozevření čelistí. Maximální úhel rozevření čelistí je 40°. Toto je výhodné zejména pro odlivky většího průměru. Nastavení rozevírání ramen chapadla se provádí pomocí upevňovacích kliček. Ramena se musí nastavit tak, aby došlo k dostatečnému rozevření chapadla a bylo možné bezpečně vyjet od řady polotovarů aniž by rameno zasáhlo polotovary na páse chladicí pece.

B. Návrh úchopných prvků

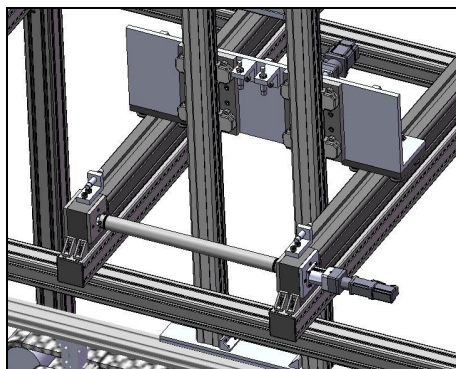
Úchopné prvky jsou řešeny pomocí profilů a nastavitelných kliček firmy ITEM., kterými se nastaví poloha čelistí chapadla podle přenášeného sortimentu. Kličky jsou výhodné, protože není nutná výměna chapadla při změně sortimentu. Na obr. 23 jsou znázorněny prvky pro odnímání přenášeného sortimentu. Při uchopování odlivků dochází k silovému uchopení za boky polotovaru. Při uchopování sklenek dochází k uchopení zespodu kalichu.



Obr. 23 – Odnímací prvky chapadla

3. 1. 2 Konstrukce manipulátoru

Manipulátor je uložen na rámu z extrudovaných profilů 80 x 80 firmy ITEM. Horizontální posuv manipulátoru je tvořen dvojicí paralelních posuvných jednotek. Obě jednotky jsou propojeny pružnou synchronní hřídelí a poháněny společným motorem (obr 24).



Obr. 24 – Propojení horizontálních os

Vertikální posuv má dvě souběžné jednotky, které jsou určeny pro instalaci ve svislé poloze. Spojení horizontálních a vertikálních jednotek a znázornění manipulátoru je na obr. 25.

Při výběru vhodných jednotek se vycházelo z parametrů formulovaných v kapitolách 1. 7 až 1. 9 a z rozměrových parametrů rámu. Na těchto základech byly navrženy pohybové jednotky firmy T.E.A. Technik a GÜDEL.

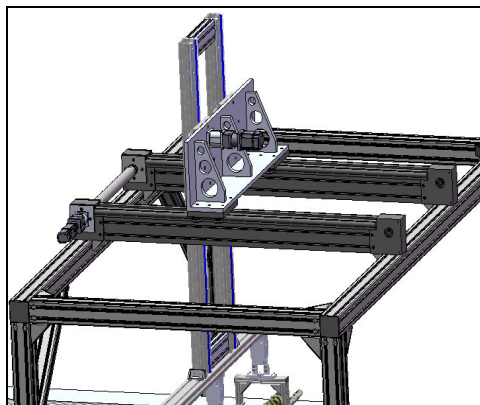
Horizontální posuv 1. jednotka AD312M D20 M312 – L1100

2. jednotka AD312M D20 M312 – L1100

Vertikální posuv 1. jednotka Güdel Typ10 FR10 ALP80/50-10 – L1220

2. jednotka Güdel Typ10 FR10 ALP80/50-10 – L1220

Horizontální jednotky mají zdvih 1100 mm, vertikální jednotky 900 mm. Horizontální i vertikální jednotky vyhovují požadavkům statického a dynamického zatížení.

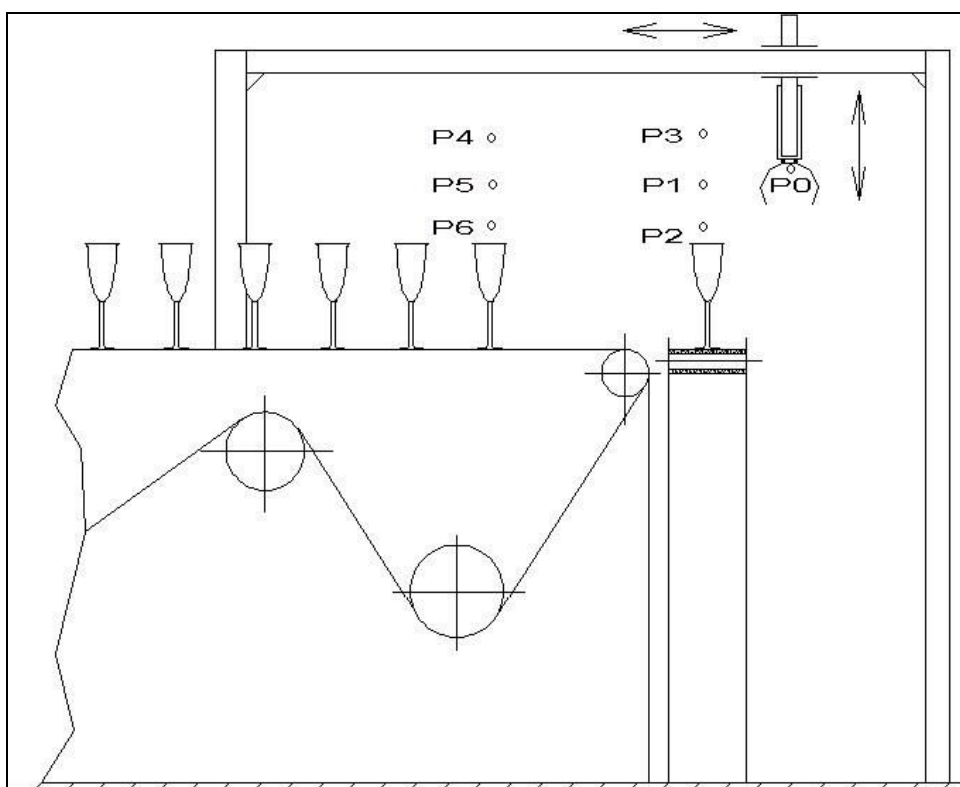


Obr. 25 – Spojení vertikálních a horizontálních jednotek

3. 2 Řízení pracovního cyklu manipulačního zařízení

V kinematickém schématu manipulátoru podle obr. 26 se příslušenství s chapadlem nachází v referenční poloze dané bodem P_0 . Horizontální pohybová jednotka je mezi příčným dopravníkem laserového opukávacího stroje a pásovou chladicí pecí v krajní poloze P_0 . Vertikální jednotka je v takové poloze, aby okraj chapadla byl cca 20 mm nad uchopovanou řadou polotovarů. Do referenční polohy P_0 je chapadlo navedeno ON – LINE systémem pomocí funkcí TEACH – IN prostřednictvím prvků na ovládacím panelu, přičemž z – souřadnice referenčního bodu se nastaví v závislosti na druhu odnímaného sortimentu. Referenční poloha je brána jako počátek souřadného systému. Manipulátor pracuje v základním režimu, je realizován dle vývojového diagramu pro řízení cyklu manipulačního zařízení a je ovládán pomocí řídicího panelu (PC a ovládací software).

Pokud je realizován sled pohybů podle diagramu, zaujímá chapadlo polohy P_0 , P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 , P_6 (obr. 26).

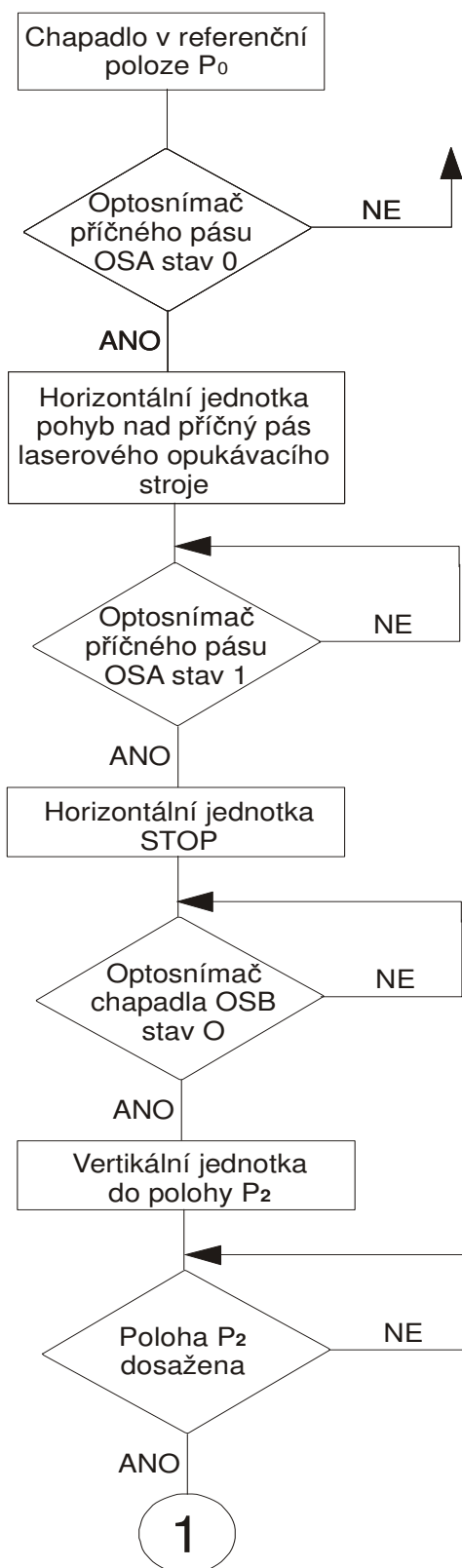


Obr. 26 – Kinematické schéma manipulátoru

3. 2. 1 Vývojový diagram pro řízení cyklu manipulačního zařízení

Vývojový diagram

Legenda



Do této polohy je chapadlo ustanoveno pomocí obslužného panelu.

Optická osa je aktivní, což potvrzuje signál optosnímačem příčného pásu OSA. Pokud tomu tak není, vyšle se poruchový signál.

Zde dochází k horizontálnímu pohybu chapadla nad odnímanou řadu polotovarů do polohy P_1 .

Pokud dojde k přerušení optické osy snímače OSA vyšle se signál stav 1 a dojde k rozjezdu horizontální pohybové jednotky do polohy P_1 .

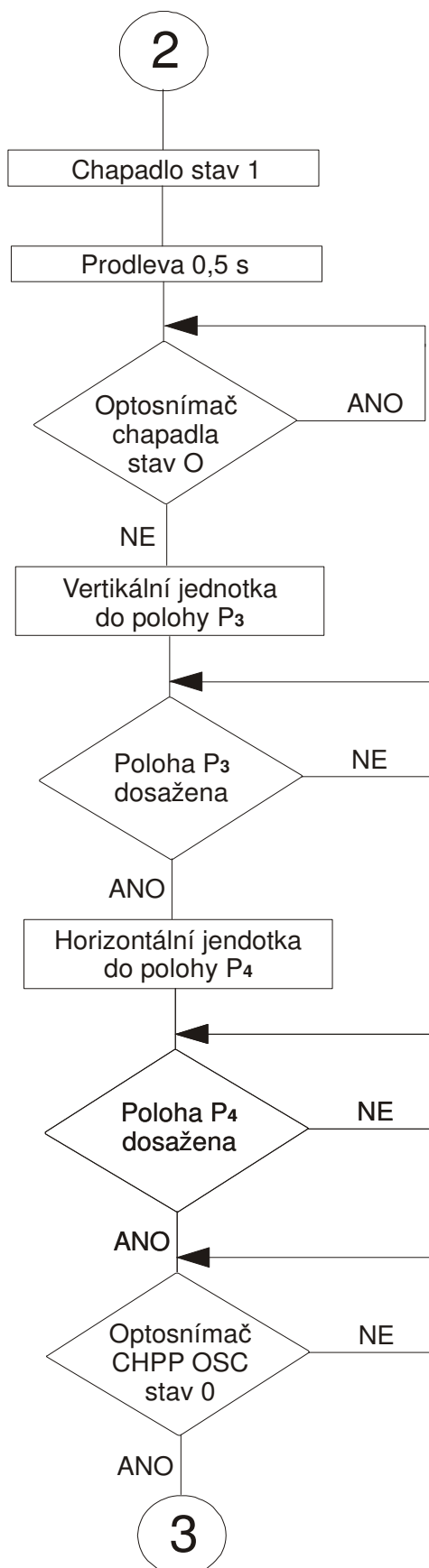
Horizontální jednotka se nachází v poloze P_1 nad odnímanou řadou.

Zde se kontroluje, zda je chapadlo otevřeno a může dojít k najetí do odnímací polohy P_2 – stav 0 znamená otevřené chapadlo.

Do polohy P_2 se chapadlo přemístí pohybem vertikální jednotky o zadanou souřadnici (záleží na odnímaném sortimentu).

Na tomto místě se testuje, zda vertikální jednotka dosáhla polohy P_2 a může dojít k uchopení řady.

Vývojový diagram



Legenda

Stav 1 znamená sevřené chapadlo.

Prodleva nutná pro sevření chapadla – nutno nastavit pokusně.

Nyní se po časové prodlevě testuje, zda není chapadlo otevřeno. Pokud ne, považuje se za sevřené.

Poloha P_3 je transportní poloha nad dopravníkem pásové pece, dno polotovarů je nad pásem cca 50 mm.

Testuje se souřadnice P_3 zadaná pro tuto polohu.

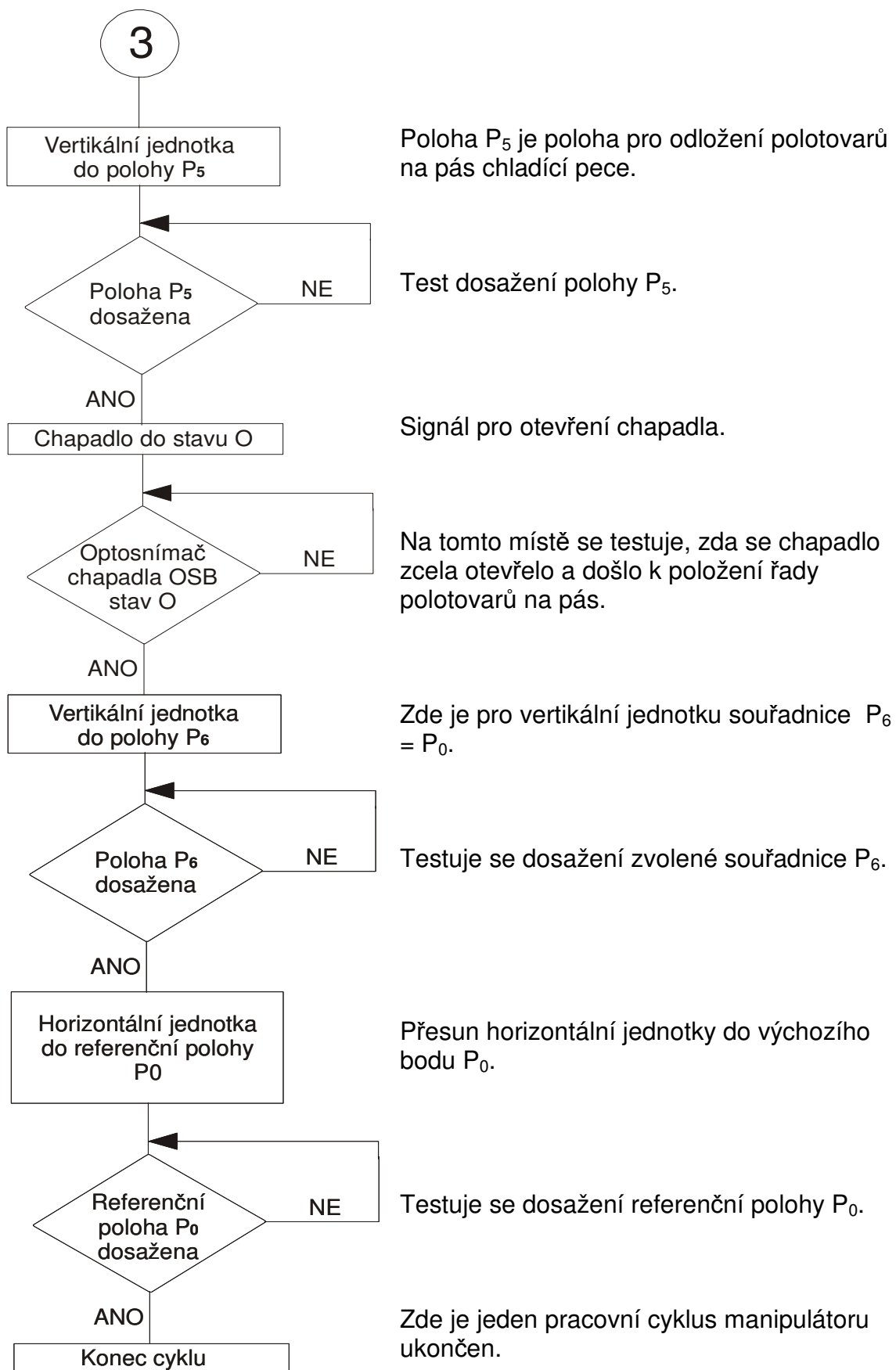
Je pevně zadaná souřadnice pro horizontální jednotku. V této poloze se chapadlo nachází nad pásem chladicí pece.

Testuje se dosažení souřadnice P_4 .

Dochází ke kontrole místa na pásové chladicí peci pro odložení řady polotovarů. Jestliže optosnímač CHPP hlásí stav 0, je možné polotovary odložit.

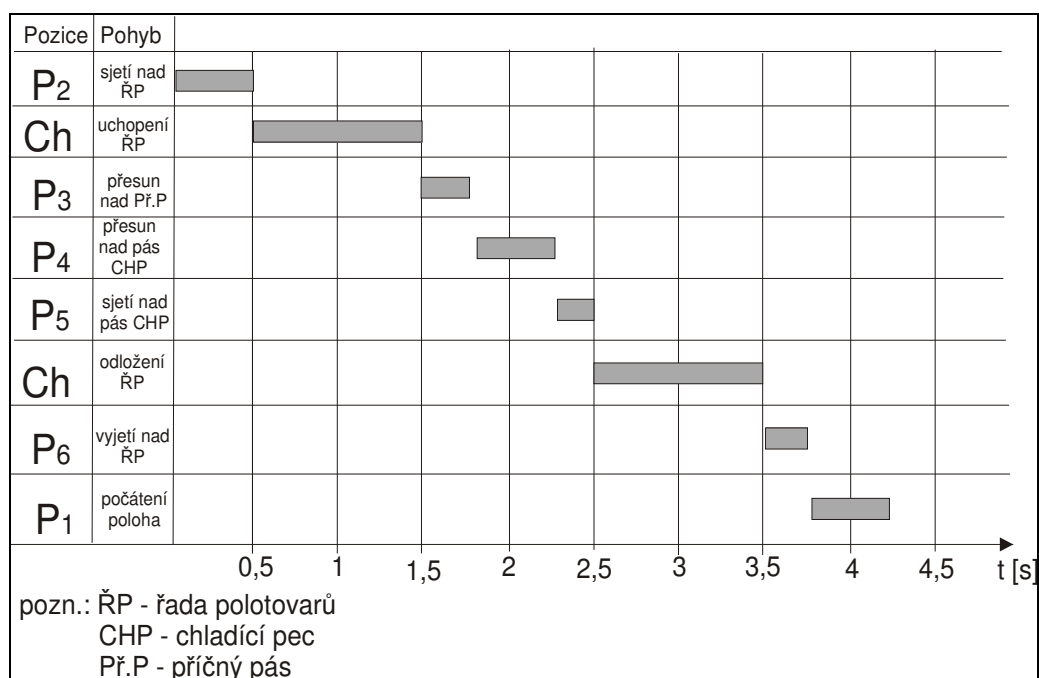
Vývojový diagram

Legenda



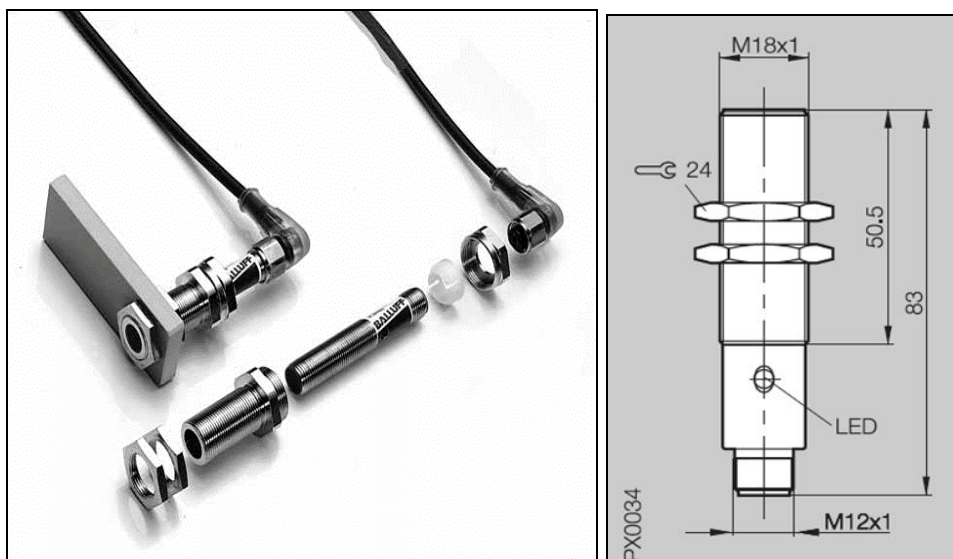
3. 2. 2 Systém řízení

Na základě použitých komponentů je možno vybrat z několika řídicích jednotek pro zabezpečení bezpečného a plynulého chodu celého manipulátoru. Pro zajištění automatického chodu je nutné, aby jeden pracovní cyklus přenosu řady polotovarů z pásu laserového opukávacího stroje na pás chladicí pece splnil časový limit zakládání. Časový průběh manipulace (obr. 27) je rozdílný na základě změny sortimentu výrobků. Při konstrukčním řešení je bráno v úvahu nejméně příznivé řešení. Tento limit je proměnný pro různý sortiment. V požadavcích uvedených v kapitole 1. 9 je doba přenosu polotovarů stanovena v rozsahu 3,1 – 5,2 s. Veškeré pohonné jednotky navržené v kapitole 3. 3 byly počítány pro nejkratší limit přenosu výlisků.

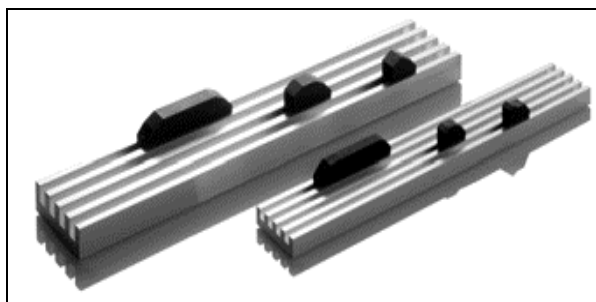


Obr. 27 – Časový diagram jednoho pracovního cyklu

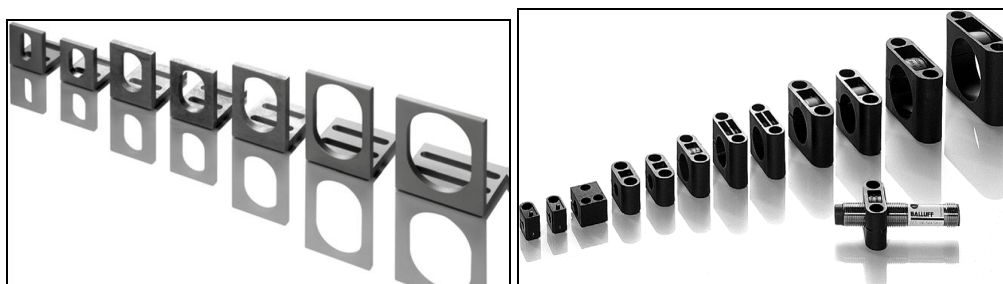
Jednotlivé pohyby navazující na sebe jsou zabezpečeny senzory. Pohybové jednotky mají na nepohyblivých částech zabudovány snímače polohy (obr. 28), na pohyblivých částech jsou umístěny odrazky (tzv. odrazové kameny obr. 29). Přesné nastavení snímačů provádí obsluha v rámci ožiování manipulačního zařízení. Možnost přestavení jednotlivých snímačů a tím i celé soustavy je jednoduchá, posunutím snímačů, popř. kovové clonky v drážce profilu a jeho fixace pomocí šroubu. Upevnění snímačů je provedeno pomocí L profilů nebo přírub na obr. 30.



Obr. 28 – Indukční snímače polohy



Obr. 29 – Odrazové kameny



Obr. 30 – Upevňovací sortiment

Senzorika

Požadované polohování obou os zajišťuje odečítání polohy a porovnání okamžité souřadnice s požadovanou. Ke správné funkci odečítání je vhodné vybavit manipulátor indukčním snímačem, který v požadovaný okamžik umožní nulování odečítání, a tím zabráni možným kolizním stavům.

Shrnutí

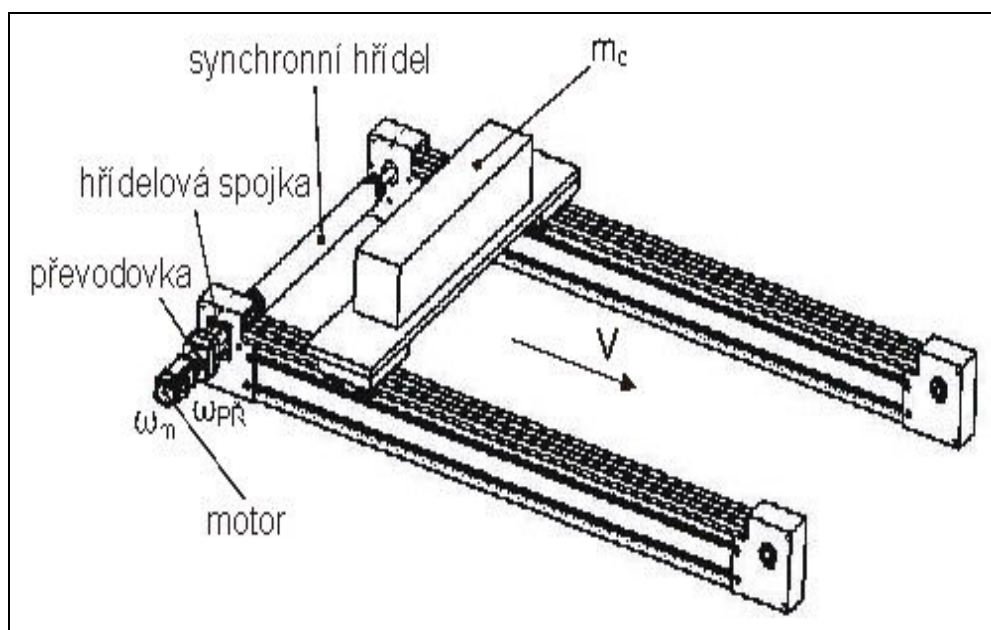
Výše navržené pohony splňují statické i dynamické požadavky, které byly požadované a poskytují značnou rezervu, např. pro nastavení razantnějších rozběhů a doběhů, než jaké byly uvažovány.

3. 3 Dimenzování pohybových os manipulátoru

3. 3. 1 Výpočty pohonů a dimenzování horizontálních jednotek

Parametry jednotek:

- vnitřní převod jednotky $i_v = 200 \text{ mm/ot}$, $d_r = 50 \text{ mm}$;
- celkový moment setrvačnosti rotujících dílů jednotek (napínací a hnací řemenice, spojovací hřídel, spojky) $J_c = 0,04484 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$;
- celková hmotnost posuvných hmot (vozík, spojovací svařený rám, vertikální jednotky, chapadlo, polotovary, uchopení chapadla, pohon vertikálních jednotek) $m_c = 110 \text{ kg}$.



Obr. 31 – Znáznornění horizontální osy X

Výpočet redukovaného momentu setrvačnosti:

$$\frac{1}{2} \cdot J_{red} \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot J_c \cdot \omega^2 + \frac{1}{2} \cdot m_c \cdot v^2$$

$$J_{red} = J_c + m_c \cdot \left(\frac{v}{\omega} \right)^2 \qquad \frac{v}{\omega} = \frac{\omega \cdot \frac{d_r}{2}}{\omega} = \frac{d_r}{2} = 0,025m$$

$$J_{red} = 0,04484 + 110 \cdot 0,025^2$$

$$J_{red} = 0,11715 kg \cdot m^2$$

Zatížení jednotky (pohonu):

- dynamickými silami při rozběhu a brzdění;
- pasivními odpory, které mají vzhledem k valivému uložení minimální velikosti.

Nejprve je proveden rozbor pasivních odporů, a poté rozbor dynamického zatížení. Pasivní odpory lineární jednotky:

- pasivní odpory v těsnících prvcích T_f = konstantní;
- pasivní odpory valivých odporů v závislosti na zatížení

$$R' = \mu \cdot F_z, \quad R = \mu \cdot F_z + i \cdot T_f$$

F_z – zatížení valivého uložení [N];

μ – 0,002 ÷ 0,005;

T_f – odpory v těsnících prvcích vedení + třecí síly řemenu;

$T_f < 30$ N;

i – počet paralelních vedení;

takže pro zatížení silou tíže $F_z = m_c \cdot g = 110 \cdot 9,81 = 1079,1N$ a pro dynamickou únosnost $C = 14200$ N. Za předpokladu, že těžiště hmotnosti m_c bude umístěno v polovině mezi horizontálními osami, bude zatěžující síla na jednu horizontální jednotku poloviční.

$$F_z' = \frac{F_z}{2} = \frac{1079,1}{2} = 539,55N$$

$$\left(\frac{F_z'}{C}\right) = \left(\frac{539,55}{14200}\right) = 0,038 \Rightarrow \text{odsud pro volbu koeficientu valivého tření bude}$$

$$\mu = 0,004$$

$$R = \mu \cdot F_z + i \cdot T_f = 0,004 \cdot 1079,1 + 2 \cdot 30 = 64,3 N$$

Momenty čepového tření v kladkách lze vzhledem k jejich velikosti zanedbat stejně jako ztráty v ozubených převodech.

Nyní bude proveden rozbor dynamického zatížení pro hodnoty:

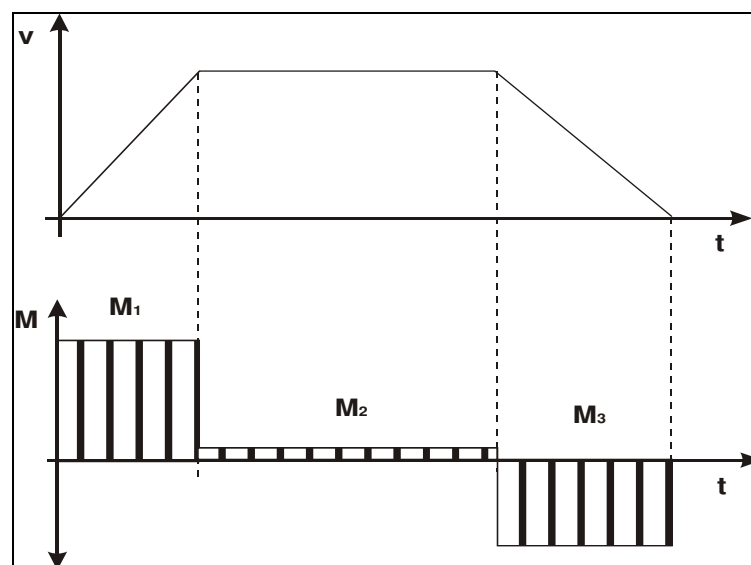
$$v_{\max} = 0,3 \frac{m}{s} \Rightarrow n_{\max} = \frac{v_{\max}}{i_v} = \frac{300}{200} = 1,5 \text{ ot} / s = 90 \text{ ot} / \text{min}$$

$n_{\max}$ – maximální otáčky hnacího hřídele $\omega_{př}$

Pro předpokládanou dobu rozběhu $t_r = 0,1$ s bude:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\max}}{t_r} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1,5}{0,1} = 94,2 s^{-2}$$

Pro jednotlivé fáze pracovního cyklu je průběh rychlostí a momentového zatížení pohonu znázorněn na obr. 32.



Obr. 32 – Průběh rychlosti a momentového zatížení

$$M_1 = R \cdot \frac{d_r}{2} + J_{red} \cdot \varepsilon_{max} = 64,3 \cdot 0,025 + 0,11715 \cdot 94,2 = 12,64 Nm$$

$$M_2 = R \cdot \frac{d_r}{2} = 64,3 \cdot 0,025 = 1,6 Nm$$

$$M_3 = R \cdot \frac{d_r}{2} - J_{red} \cdot \varepsilon_{max} = 1,6 - 11,03 = -9,43 Nm$$

$$M_{stř} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} = \sqrt{\frac{12,64^2 \cdot 0,25 + 1,6^2 \cdot 4,5 + 9,43^2 \cdot 0,25}{0,25 + 4,5 + 0,25 + 15}} = 1,92 Nm$$

Podmínky pro výběr servomotoru:

- Zátěžný moment M_L [Nm] < jmenovitý moment M_N [Nm];
- Rychlost při zatížení n_L [ot/min] < n_N jmenovité výstupní otáčky;
- Moment setrvačnosti zátěže J_L [kg · m²] < 3 J_A (moment setrvačnosti pohonu).

Parametry pro volbu motoru:

MTR-AC-70-GB

$$M_n = 3,53 Nm, n_N = 4300 \frac{ot}{min}, J_A = 0,6 kg \cdot m^2$$

Porovnání výpočtů s parametry:

$$M_2 < M_N \rightarrow 1,6 < 3,53 \Rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

$$n_{MAX} < n_N \rightarrow 90 < 4300 \Rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

$$J_L < 3 \cdot J_A \rightarrow 0,11715 < 3 \cdot 0,6 \Rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

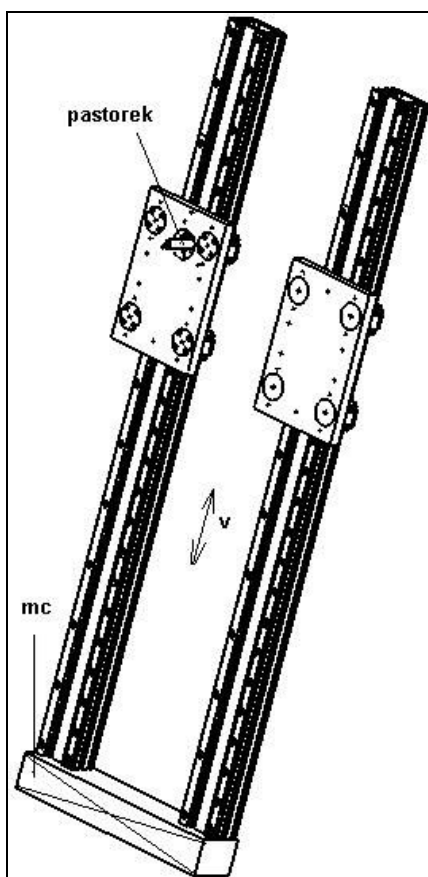
Pohon horizontálních jednotek s ohledem k možností nastavení razantnějších rozběhů a doběhů (zejména manipulátoru bez polotovarů) je nutné volit s dostatečnou výkonovou rezervou a vzhledem k provozním podmínkám s prodlouženou životností. Volím pohon s vestavěnou převodovkou a brzdou:

EC elektromotor Festo **MTR-AC-70-GB**

3. 3. 2 Výpočty pohonů a dimenzování horizontálních jednotek

Parametry jednotek:

- maximální rychlost pohybu vertikálního pojezdu $v_{\max} = 0,4$ m/s;
- celková hmotnost posuvných hmot (vozík, spojovací svařený rám, vertikální jednotky, chapadlo, polotovary, uchopení chapadla, pohon vertikálních jednotek) $m_c = 50$ kg;
- průměr pastorku $d = 27$ mm.



Obr. 33 – Znázornění horizontální osy Z

Úhlová rychlost pastorku:

$$\omega_p = \frac{v_{\max}}{R} = \frac{2v_{\max}}{d} = \frac{2 \cdot 0,4}{0,027} = 29,6 \text{ rad/s}$$

Otáčky pastorku:

$$\omega_p = 2\pi \cdot \frac{n_p}{60} \Rightarrow n_p = \frac{\omega_p \cdot 60}{2\pi} = \frac{29,6 \cdot 60}{2 \cdot \pi} = 282,6 \text{ ot/min}$$

Volba převodovky:

$$i = 8$$

$$J_{p\ddot{R}} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$M_m = 16 \text{ Nm}$$

Volba motoru:

$$M_N = 1,8 \text{ Nm}$$

$$n_N = 3000 \text{ ot/min}$$

$$J_M = 1 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

Převod:

$$i = \frac{n_{NM}}{n_p} = \frac{3000}{282,6} = 10,6$$

Moment setrvačné zátěže J_L :

$$\frac{1}{2} \cdot J_L \cdot \omega_{p\ddot{R}}^2 = \frac{1}{2} \cdot J_{p\ddot{R}} \cdot \omega_{p\ddot{R}}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_c \cdot v^2$$

$$J_L = J_{p\ddot{R}} + m_c \cdot \frac{d^2}{4} = 1,2 + 50 \cdot \frac{2,7^2}{4} = 92,3 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$J_{Lred} = J_L / i^2 + J_{p\ddot{R}} / i^2 = 92,3 / 10,6^2 + 1,2 / 10,6^2 = 0,832 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

Podmínky pro výběr servomotoru:

- Rychlost při zatížení n_L [ot/min] < n_{NM} jmenovité výstupní otáčky;
- Moment setrvačnosti zátěže J_L [kg. m²] < 3 J_M (moment setrvačnosti pohonu).

Porovnání výpočtů s parametry:

$$n_p < n_N \rightarrow 282,6 < 3000 \Rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

$$J_{Lred} < 3 \cdot J_M \rightarrow 0,832 < 3 \cdot 1 \Rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

Na základě těchto výpočtů byl zvolen servomotor Festo **MTR-AC-100-3S-GB** s vestavěnou převodovkou a brzdou.

4. TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

4. 1 Zhodnocení parametrů navrženého zařízení

Předložené řešení manipulačního zařízení bylo vedeno s cílem automatizovat odnámání polotovarů z příčného pásu laserového opukávacího stroje a zakládání na pás chladicí pece při splnění technických požadavků, které byly formulovány v kapitolách 1. 6 a 1. 9. Při řešení bylo přihlédnuto ke stávajícímu manipulačnímu zařízení na lince LINKUŽ 9.

Byl kladen důraz zejména na zajištění požadavku nepřetržitého provozu. Z toho důvodu byly zvoleny moderní konstrukční prvky a zařízení renomovaných firem.

Při konstrukci chapadla bylo použito stavebnicových prvků. Pomocí profilů a upevňovacích prvků byl splněn požadavek vysoké flexibility ve vztahu k sortimentu. Nastávající řešení předpokládá jednu sadu úchopných prvků pro celou škálu přenášeného sortimentu.

Základem manipulátoru a celého zařízení je rám z extrudovaných profilů. Na tomto rámu je umístěn vlastní manipulátor. Manipulátor je tvořen dvojicí horizontálních translačních pohybových jednotek a k nim připojenou dvojicí vertikálních posuvných jednotek se servopohony. Byly použity jednotky s kvalitním valivým uložením a tím vysokou životností.

Dopravní systém na vstupu nebyl předmětem řešení diplomové práce, předpokládá se, že obsahuje na sebe navazující dopravníky s pohonem pomocí asynchronních motorů se šnekovou převodovkou a frekvenčním měničem. Manipulátor jako celek vyhovuje požadavku nepřetržitého provozu a je způsobilý k manipulaci s celým vyráběným sortimentem.

Manipulační zařízení bylo konstrukčně zpracováno formou dílčí výkresové dokumentace, doplněno přehledem systémových vazeb a požadavků na projekt řízení.

Pokyny pro obsluhu a údržbu

Běžná obsluha spočívá ve vizuální kontrole celého zařízení. Stav jednotlivých prvků je signalizován na obslužném panelu.

Obsluha též odstraňuje poškozené polotovary z pásu laserového opukávacího stroje, které by při následné manipulaci mohly způsobit kolizní stav.

Při změně sortimentu jsou kladeny na obsluhu tyto požadavky:

- přenastavení úchopných prvků chapadla dle tvaru nadcházejícího sortimentu;
- pomocí systému TEACH-IN módu řízení navést chapadlo do požadovaného referenčního bodu;
- v případě nutnosti bude možno přizpůsobit rychlosti a rampy požadavkům taktáže a vlastnostem sortimentu bez porušení pohybové synchronizace.

Zařízení neklade zvláštní nároky na údržbu, která může být prováděna v souladu s režimem údržby dalších strojů výrobní linky.

4. 2 Ekonomické zhodnocení

Odhad pořizovacích nákladů

Pořizovací náklady jsou podloženy firemními nabídkami subdodavatelů komponent a kvalifikovaným odhadem dalších nákladových položek pro první dodávaný stroj takto:

Konstrukce a projekt	160 000, -
Elektroprojekt	75 000, -
Subdodávky komponentů a materiálu + výroba speciálních dílů	950 000, – Kč
Montáž a oživení	90 000, – Kč
Elektrovybavení	200 000, – Kč
Celkem	1 475 000, – Kč

Opakovaná výroba přinese snížení nákladů na další stroje:

Cena 2. a 3. stroje	1 180 000, – Kč
----------------------------	------------------------

Závěr

V řešené diplomové práci byl koncepčně navržen a částečně konstrukčně vyřešen manipulátor pro automatickou manipulaci s polotovary z konce příčného pásu laserového opukávacího stroje na pás chladící pece.

Nejprve byl proveden rozbor současného stavu s přihlédnutím ke stávajícímu manipulátoru na lince LINKUŽ 9 a zformulovány základní technické požadavky na řešení z hlediska manipulační úlohy, odnímaného sortimentu a spolupracujících zařízení.

V kapitole 2 je podrobně zpracován alternativní návrh koncepce manipulačního zařízení a provedeno rozdělení do dílčích celků (manipulátor včetně chapadla a dopravní systém).

Třetí kapitola zahrnuje konstrukční řešení formou návrhů a základních výpočtů pohonů, podrobný popis konstrukčního řešení a sestavné a podsestavné výkresy v příloze. V konstrukci rámu jsou aplikovány extrudované Al profily, které svou únosností a spojovacími prvky dávají předpoklad tuhé a esteticky působící konstrukce. Jsou zde široce uplatněny prvky a moduly, které umožnily realizovat stavebnicovou konstrukci jednoúčelového manipulátoru.

Jsem přesvědčen, že navrhované zařízení má základní předpoklady plnit technické podmínky zadané manipulační úlohy.

Seznam použité literatury:

- [1] Katalog Crystalex – sortiment výrobků 2005;
- [2] Chvála B., Nedbal J., Dunay G.: Automatizace. STNL Praha 1985, 603s.;
- [3] Toman, M.: Manipulátor s polotovary sklenic na výstupu z chladicí pece, TU v Liberci, Liberec 1997, 48 s. ;
- [4] Katalog Güdel – lineární pohon s ozubeným hřebem;
- [5] Katalog Alurol – Lineární vedení s ozubeným řemenem;
- [6] Katalog TEA Technic – Lineární vedení s ozubeným řemenem;
- [7] Katalog Item – MB Systembaukasten;
- [8] Katalog Festo – Chapadla a příslušenství;
- [9] Katalog Promat – Vysokoteplotní konstrukční a izolační materiály.

Pozice	Název – Typové označení	Výrobce	Materiál	Ks
1	Chapadlo HGW 32	Festo	424201	3
2	Úchytka chapadla	Festo	19 642.6	6
3	Příruba pro chapadlo		11 343.1	3
4	Šroub M8x35	Item	ČSN 02 1143.52	6
5	Profil 5 40x20x70	Item	Al Mg Si 0,5	6
6	Klička	Item	ČSN 64 21 12	6
7	Přípevňovací část kličky 1	Item	Al Mg Si 0,5	6
8	Přípevňovací část kličky 2	Item	Al Mg Si 0,5	6
9	Objímka kličky	Item	Al Mg Si 0,5	6
10	Upevňovací matice M8x5	Item	ČSN 02 1401.40	6
11	Rohová spojka 8 40x40	Item	Al Mg Si 0,5	6
12	Záslepka 4 40x40	Item	ČSN 64 21 12	6
13	Šroub M8x18	Item	ČSN 02 1145.52	24
14	Záslepka 4 40x20	Item	ČSN 64 21 12	18
15	Upínací šroub M6x30	Item	11 743.1	54
16	Upínací objímka M8x26	Item	11 743.1	54
17	Příruba pro lištu		11 600.1	6
18	Šroub M6x20	Item	ČSN 02 1143.52	8
19	Stahovací matice M8	Item	11 743.1	12
20	Profil 5 40x20x60	Item	Al Mg Si 0,5	6
21	Šroub M6x30	Item	ČSN 02 1143.52	6
22	Podložka 4	Item	ČSN 021740.10	96
23	Stahovací matice M8x13,5	Item	11 743.1	12

Změna	Datum	Index	Podpisy		
Měřítko	Navrhl				
	Kreslil	KOMŮRKA			
	Přezkoušel				
Č. seznamu	Technolog				
Č. sestavy	Normalit.				
Starý výkr.	Schválil				
	Datum				
		30. 5. 2009			



TU v LIBERCI

Název
Kusovník chapadla

Č. výkresu
A1-DP-S08000614-01-02-00-K3

List 2/3